

LEONARDO CALÒ

**Estudo para aumento da capacidade de um terminal multimodal de açúcar no
interior de São Paulo**

São Paulo
2017

LEONARDO CALÒ

Estudo para aumento da capacidade de um terminal multimodal de açúcar no interior de São Paulo

Trabalho de Formatura apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do Diploma de Engenheiro de Produção

São Paulo

2017

LEONARDO CALÒ

Estudo para aumento da capacidade de um terminal multimodal de açúcar no interior de São
Paulo

Trabalho de Formatura apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo para
obtenção do Diploma de Engenheiro de
Produção

Orientador: Prof. Dr. Marco Aurélio de
Mesquita

São Paulo

2017

Catálogo-na-publicação

Calò, Leonardo

Estudo para aumento da capacidade de um terminal multimodal de açúcar no interior de São Paulo / L. Calò -- São Paulo, 2014.

102 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Produção.

1.Logística 2.Simulação por eventos discretos 3.Aumento de capacidade
I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Produção II.t.

Dedico este trabalho à minha mãe,
que me criou, me educou, me sustentou
e me apoiou incondicionalmente
em todos os momentos.
Sem você eu não estaria aqui.

AGRADECIMENTOS

À minha família, que sempre apoiou minha educação e me forneceu os meios para chegar até aqui.

Ao professor Marco Aurélio de Mesquita pela orientação séria, dedicada, colaborativa, aberta, sincera e serena. Um exemplo de profissionalismo e pragmatismo.

À Pöyry e a todos os colegas de trabalho que me proporcionaram as ferramentas para a elaboração deste trabalho.

À Flexsim pelo fornecimento da licença estudantil que possibilitou o estudo de simulação.

E finalmente à minha namorada e aos meus amigos pelas risadas que, tantas vezes, aliviaram o stress politécnico.

Homo Faber Ipsius Fortunae
Giovanni Pico della Mirandola

RESUMO

A previsão do aumento das safras de açúcar dos próximos anos e da demanda mundial impacta diretamente na logística de escoamento do açúcar das usinas até os portos brasileiros. As empresas brasileiras, devido às limitações da infraestrutura e da matriz de transportes do país, recorrem muitas vezes ao uso de terminais intermodais para realizarem o transbordo de seus produtos entre modais. Este estudo tem por objetivo determinar as alterações necessárias para a expansão da capacidade de movimentação de um terminal intermodal de açúcar no interior de São Paulo, que já opera no máximo de sua capacidade de 600 mil toneladas anuais. O terminal recebe açúcar advindo das usinas por modal rodoviário e expede o produto por modal ferroviário até o Porto de Santos, de onde o açúcar é exportado. A empresa estuda duas possibilidades: ampliar a movimentação do terminal para um milhão ou 1,4 milhão de toneladas anuais. Através do uso de um modelo de simulação por eventos discretos, é possível determinar as alterações necessárias no terminal para que sua capacidade de movimentação seja expandida sem comprometer seu desempenho operacional. Uma vez determinados os investimentos necessários para as duas possibilidades de expansão contempladas, são feitas ponderações sobre qual expansão é mais interessante para a empresa: a expansão para movimentar um milhão de toneladas por ano ou aquela para movimentar 1,4 milhão de toneladas por ano.

Palavras-Chave: Logística. Simulação por eventos discretos. Aumento de capacidade.

ABSTRACT

The forecast of growing harvests of sugar over the coming years along with increased demands worldwide directly impacts the logistics and transportation of sugar from the mills to Brazilian ports. Due to limitations of Brazilian infrastructure and transportation systems, Brazilian companies often resort to intermodal terminals in order to perform transshipment of their products. This paper's objective is to determine the changes necessary for the increase in the transportation capacity of an intermodal terminal in São Paulo, which is already operating at its full capacity, moving 600 thousand tons of sugar a year. Sugar arrives at the terminal by trucks and is then dispatched to the Port of Santos by train to be exported. The company is contemplating two possibilities: increase its transportation capacity to one million or 1.4 million tons a year. Through the construction of a discrete event simulation model, it's possible to determine the changes necessary to expand the terminal's current capacity without compromising its operational performance. After establishing the necessary investments for the two capacity expansion possibilities, increasing the capacity to one million or 1.4 million tons a year, this paper presents and evaluates which alternative is the most beneficial for the company.

Keywords: Logistics. Discrete event simulation. Capacity Increase.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma de operação do terminal.....	14
Figura 2 - Matriz de transportes brasileira (PNLT, 2011).....	18
Figura 3 - Malha rodoviária (BRASIL, 2011).....	18
Figura 4 - Malha ferroviária (BRASIL, 2011)	19
Figura 5 - Variação do PIB e do PIB do agronegócio (CEPEA, 2016).....	20
Figura 6 - Evolução da produção e exportação de açúcar (ÚNICA, 2017)	22
Figura 7 - Metodologia (Knepell e Arangno, 1993).....	33
Figura 8 - Exemplo de ACD do cliente.....	36
Figura 9 - Exemplo de ACD do atendente.....	36
Figura 10 - Exemplo de ACD do sistema.....	36
Figura 11 - Ilustração do método	42
Figura 12 - Fluxograma do terminal.....	47
Figura 13 - Carga por veículo.....	50
Figura 14 - Distribuição mensal de chegadas.....	51
Figura 15 - Distribuição horária de chegadas.....	51
Figura 16 - Distribuição do número de vagões	52
Figura 17 - Carga por vagão	52
Figura 18 - Distribuição horária original.....	54
Figura 19 - Distribuição horária ajustada	54
Figura 20 - Fluxograma do terminal com tempos operacionais.....	57
Figura 21 - Layout do terminal	63
Figura 22 - Visão da chegada dos caminhões	64
Figura 23 - Visão da amostragem e da balança	64
Figura 24 - Visão do sistema de descarregamento e armazém	65
Figura 25 - Visão da operação ferroviária	65
Figura 26 - Visão em detalhe do carregamento e descarregamento	66
Figura 27 - Visão aérea do modelo do terminal	67
Figura 28 - Dashboard do modelo.....	67
Figura 29 - Dashboard do experimento 600/∞/4/0	70
Figura 30 - Dashboard do experimento 1000/∞/4/0.....	71
Figura 31 - Dashboard do experimento 1000/∞/4/Am/Mo	72
Figura 32 - Dashboard do experimento 1400/∞/4/Am/Mo	73
Figura 33 - Dashboard do experimento 1400/∞/4/Am/Mo/Tr.....	74
Figura 34 - Dashboard do experimento 1400/∞/4/Am/Mo/Tr/Tu/Mo.....	76
Figura 35 - Evolução da demanda	84
Figura 36 - Quantidade movimentada em cada cenário	84
Figura 37 - Análise de Sensibilidade do Preço do açúcar	87
Figura 38 - Análise de Sensibilidade do crescimento da demanda.....	88
Figura 39 - Análise de Sensibilidade do percentual de lucro.....	89
Figura 40 - Análise de Sensibilidade da taxa de desconto.....	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Metodologias de simulação (FERNÁNDEZ, 2014)	32
Tabela 2 - Método escolhido (adaptado de MURCIA FERNANDEZ, 2011)	41
Tabela 3 - Valores da Demanda Anual (DA) a serem estudados	46
Tabela 4 - Distribuição mensal de veículos	53
Tabela 5 - Percentual original e ajustado da chegada de caminhões por hora	54
Tabela 6 - Fatores de correção	56
Tabela 7 - Tempos operacionais	62
Tabela 8 - Alterações necessárias para atingir demanda anual de um milhão de toneladas	72
Tabela 9 - Alterações necessárias para atingir demanda anual de 1,4 milhão de toneladas	76
Tabela 10 – Alterações contempladas pelos dois cenários.....	77
Tabela 11 – Alterações contempladas pelos dois cenários.....	78
Tabela 12 - Investimentos do cenário 1	80
Tabela 13 - Investimentos do cenário 2	81
Tabela 14 - Preço do açúcar - premissa adotada.....	83
Tabela 15 – Crescimento da demanda - premissa adotada.....	83
Tabela 16 – Percentual do lucro em relação à receita - premissa adotada.....	85
Tabela 17 – Taxa mínima de atratividade - premissa adotada.....	85
Tabela 18 - Fluxo de Caixa dos cenários.....	85
Tabela 19 - Indicadores econômicos dos cenários.....	86

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACD	Activity Cycle Diagram
CNA	Confederação da Agricultura e Pecuária
CNT	Confederação Nacional do Transporte
Conab	Companhia Nacional de Abastecimento
Depec	Departamento de Pesquisas e Estudos Econômicos
Fifo	First In First Out
Lifo	Last in First Out
PIB	Produto Interno Bruto
PN	Process Networks
PNLT	Plano Nacional de Logística dos Transportes
S.A.	Sociedade Anônima
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
Unica	União da Indústria de Cana-de-açúcar
VPL	Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	CONTEXTO	13
1.2	PROJETO	13
1.3	OBJETIVO	15
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	LOGÍSTICA DO AGRONEGÓCIO BRASILEIRO	17
2.2	PLANEAMENTO DE TERMINAIS INTERMODAIS	23
2.3	SIMULAÇÃO POR EVENTOS DISCRETOS	28
3	MÉTODO	41
4	PROJETO	45
4.1	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA E OBJETIVO	45
4.2	MODELO CONCEITUAL	46
4.3	COLETA E PROCESSAMENTO DE DADOS	49
4.4	MODELO COMPUTACIONAL	58
4.5	VALIDAÇÃO E VERIFICAÇÃO	62
4.6	EXPERIMENTOS	69
4.6.1	EXPERIMENTO 600/∞/4/0	69
4.6.2	EXPERIMENTO 1000/∞/4/0	70
4.6.3	EXPERIMENTO 1000/∞/4/Am/Mo	72
4.6.4	EXPERIMENTO 1400/∞/4/Am/Mo	73
4.6.5	EXPERIMENTO 1400/∞/4/Am/Mo/Tr	74
4.6.6	EXPERIMENTO 1400/∞/7,5/Am/Mo/Tr/Tu/Mo	75
4.7	ANÁLISE DOS RESULTADOS DA SIMULAÇÃO	77
5	ANÁLISE ECONÔMICA	79
5.1	LEVANTAMENTO DOS INVESTIMENTOS	79
5.2	AVALIAÇÃO DOS CENÁRIOS	81
5.2.1	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO PREÇO DO AÇÚCAR	87
5.2.2	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO CRESCIMENTO DA DEMANDA	88
5.2.3	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO PERCENTUAL DE LUCRO	89
5.2.4	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DA TAXA DE DESCONTO	90
5.3	ANÁLISE DOS RESULTADOS	90
6	CONCLUSÕES	93
	REFERÊNCIAS	95
	ANEXO A – Estrutura de árvore do modelo computacional	98
	ANEXO B – Planilha de cálculo das chegadas rodoviárias	99
	ANEXO C – Planilha de cálculo das chegadas ferroviárias	100
	ANEXO D – Premissas e indicadores da Análise Econômica	101
	ANEXO E – Planilha do Fluxo de Caixa	102

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTO

A Pöyry é uma empresa global de engenharia e consultoria com sede na Finlândia. O autor estagia atualmente na Pöyry no setor de logística e transportes, dentro da diretoria de Projetos e Estudos Especiais, onde um dos clientes é a Sugar S.A., nome fictício criado para designar empresa do ramo sucroenergético, por questões de confidencialidade.

A Sugar é atualmente uma das maiores comercializadoras globais de açúcar e etanol e uma das maiores exportadoras brasileiras destes produtos. A Sugar conta com parcerias com dezenas de usinas, com as quais possui contrato de exclusividade, em diversos estados do Brasil, para produção do açúcar e etanol. Toda a produção de açúcar da empresa é feita nestas unidades.

Após a produção do açúcar nas usinas, o produto é transportado por modal rodoviário até dois terminais multimodais no interior de São Paulo, localizados na Cidade A e na Cidade B. Estes terminais armazenam e expedem o açúcar por modal ferroviário para o Porto de Santos, de onde o açúcar é exportado.

1.2 PROJETO

A empresa tem previsões de safras maiores e de um aumento de demanda nos próximos anos. De acordo com diagnóstico da empresa, os terminais no interior de São Paulo não terão capacidade de lidar com este aumento de movimentação.

Consequentemente, a Sugar contratou a Pöyry para realizar um estudo de aumento de capacidade dos terminais e construção de um novo terminal. Uma equipe da Pöyry foi selecionada para executar este projeto, incluindo o autor desta monografia, que ficou responsável por fazer um estudo preliminar de simulação para ampliação do terminal A, especificamente.

A empresa, com perspectivas de crescimento de demanda e de safras maiores para os próximos anos, seria impactada diretamente e positivamente por uma expansão da capacidade dos terminais intermodais, pois conseguiria aumentar a expedição de açúcar para o terminal

de Santos e, assim, as exportações deste produto, que representaram quase dois terços da receita da empresa com a venda de açúcar em 2016. Por este motivo, a empresa contratou a Pöyry para a realização destes estudos.

O terminal A conta com informações mais precisas e mais recentes. Além disso, é o terminal cujos estudos contemplam a maior ampliação percentual de capacidade, portanto, mais interessante para iniciar o estudo dos impactos do aumento significativo de fluxo dentro da infraestrutura atual.

Segundo a empresa, o terminal A opera com um armazém de estocagem com capacidade estática de oito mil toneladas. O terminal movimenta em média 50 mil toneladas por mês e recebe em média 80 caminhões por dia (chegada do açúcar) e dois trens por semana (expedição do açúcar – de cerca de 80 vagões/7200 toneladas).

O terminal movimenta atualmente 600 mil toneladas de açúcar por ano. A operação do terminal será descrita a seguir. Os caminhões, cheios de açúcar provenientes das usinas, se dirigem ao terminal A previamente agendados. Na chegada, é feito um controle de qualidade por amostragem. Em seguida, os caminhões são pesados e então seguem para a moega, onde é feito o descarregamento. Vazios, os caminhões são pesados novamente para então sair do terminal. Enquanto isso, o açúcar que entrou é movimentado por correias transportadoras e elevadores de caneca até o armazém.

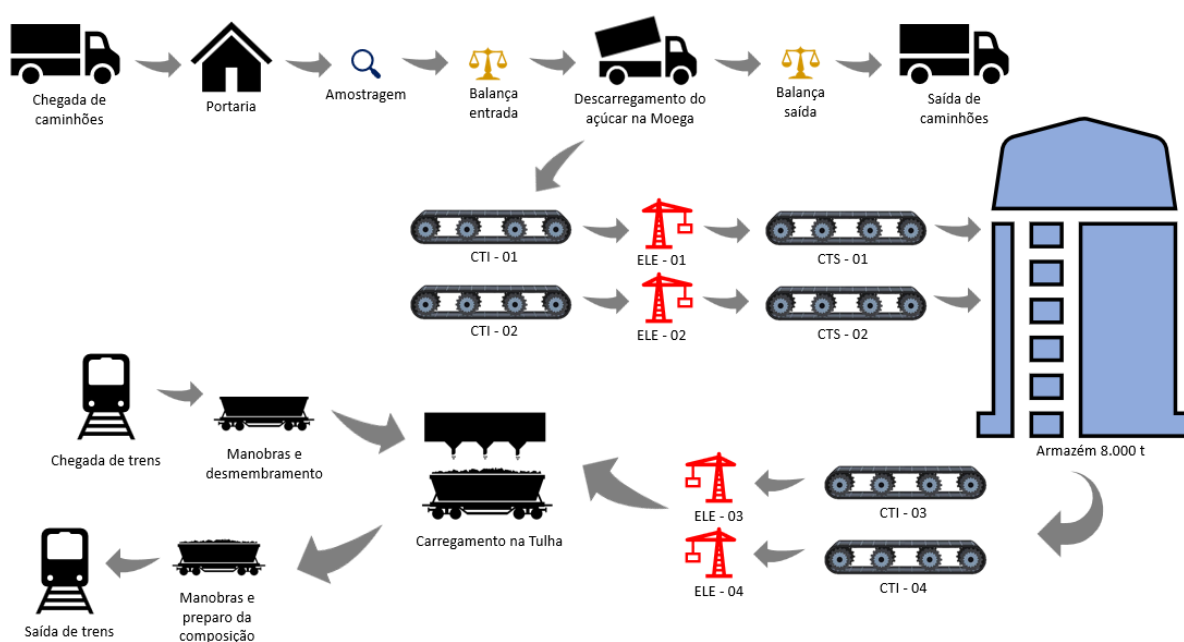


Figura 1 - Fluxograma de operação do terminal

Quando chega uma composição ferroviária no terminal, esta passa por manobras e desmembramento, em operação que demora cerca de 2 horas. Um trator transporta os vagões vazios em lotes de oito até a tulha. Enquanto isso, o açúcar do armazém é transportado por correias e elevadores até a tulha, onde os vagões são carregados. O mesmo trator agora movimenta os vagões cheios em lotes de três para o preparo da composição. Em seguida, o trem sai do terminal. O fluxograma da Figura 1 descreve o processo.

1.3 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é o de estudar os investimentos necessários para realizar a expansão da capacidade do terminal. Isto será feito através de um modelo econômico-operacional, com modelagem e simulação do terminal em um software de simulação por eventos discretos para poder, assim, conhecer os gargalos, a ocupação dos recursos e outros indicadores e, desta forma, estimar quais são os investimentos necessários para ampliar a movimentação do terminal, das 600 mil toneladas por ano atuais, para um milhão de toneladas anuais ou 1,4 milhões de toneladas anuais. Caberá então a Sugar decidir qual configuração é mais interessante e, então, dar continuidade à parceria com a Pöyry para continuidade do projeto.

O estudo de logística através da simulação por eventos discretos é uma ferramenta poderosa para entender quais mudanças são necessárias para atender aos requisitos do cliente. É necessário modelar a configuração atual e validá-la, comparando os indicadores da simulação com os indicadores reais do terminal. Após a validação, altera-se a chegada de produtos para simular o aumento das safras. Estuda-se então o impacto deste aumento nos recursos do terminal e então, verificar a necessidade de adicionar, remover, alterar e rearranjar estes recursos para minimizar os impactos do aumento da movimentação e otimizar os principais indicadores de desempenho do terminal.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho é dividido em seis capítulos. No primeiro capítulo, a **Introdução**, é feita uma breve descrição do contexto do projeto e da operação do Terminal A da Sugar; a expansão do terminal é definida como o problema a ser resolvido e é descrito também o objetivo e a estrutura do trabalho.

A **Revisão Bibliográfica**, segundo capítulo deste trabalho, busca na literatura conceitos e métodos relativos a três temas: a logística do agronegócio brasileiro, o planejamento de terminais intermodais e a simulação por eventos discretos. Na primeira parte, são fornecidas algumas definições básicas da logística, além de dados macroeconômicos do Brasil, do agronegócio e, em particular, do mercado de açúcar. Na segunda parte, são discutidos métodos e práticas para a elaboração de projetos de terminais intermodais, bem como dos principais componentes de um terminal. Finalmente, na última parte do capítulo, é feita uma revisão da literatura relativa à metodologia de simulação, com descrição de conceitos e ferramentas a serem utilizadas na aplicação prática do projeto.

O terceiro capítulo, **Método**, descreve justamente o método que será usado no trabalho, baseado na revisão bibliográfica feita no capítulo anterior, definindo o passo a passo do projeto.

O quarto capítulo, **Projeto**, consiste na aplicação do método definido no capítulo anterior ao terminal açucareiro da Sugar, visando seu aumento de capacidade. Através da definição do problema e do planejamento do estudo, são coletados e tratados os dados que servem como dados de entrada para o modelo de simulação. O modelo conceitual é descrito e validado para que seja construído o modelo computacional, ferramenta que será utilizada para realizar experimentos sobre a atual operação do terminal e determinar os investimentos necessários para o aumento de capacidade desejado pela Sugar.

O quinto capítulo, **Análise Econômica**, faz uma estimativa dos investimentos necessários para os dois cenários contemplados para a ampliação da capacidade do terminal. Em seguida, através da adoção de uma série de suposições e premissas para definir algumas variáveis, são calculados indicadores financeiros para os dois cenários e, através de análises de sensibilidade, são estudados os impactos da alteração do valor destas variáveis nos indicadores financeiros.

Finalmente, o sexto e último capítulo, **Conclusões**, avalia o trabalho como um todo, indicando possíveis melhorias e próximos passos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 LOGÍSTICA DO AGRONEGÓCIO BRASILEIRO

A logística empresarial é definida por Ballou (1995) como a atividade capaz de fazer com que a administração de empresas melhore seu nível de rentabilidade na distribuição de produtos e serviços aos clientes; planejar, organizar e realizar um controle efetivo de suas atividades de armazenagem e transporte são os meios para atingir este objetivo.

Segundo o autor, a logística tem importância vital pelo fato de os consumidores não estarem geograficamente no mesmo local onde os produtos e serviços estão localizados. Para que os consumidores obtenham estes produtos onde, quando e do modo que quiserem, a logística é fundamental.

Para realizar estas funções de armazenagem e transporte, o Brasil tem à disposição alguns modais de transporte, além de configurações que desempenham a função de armazenagem, capazes de integrar estes modais: os terminais. Segundo Lima (1988), a armazenagem em terminais permite que uma carga seja transferida entre modais com capacidades diferentes sem a obrigatoriedade dos veículos de diferentes modais estarem presentes simultaneamente.

Segundo Ballou (1995), quanto maior a eficiência do sistema de transportes, maior a competitividade da empresa frente ao mercado. Desta forma, a escolha dos modais de transporte adotados é fundamental para o sucesso da empresa. Esta escolha, segundo Caixeta-Filho e Martins (2010), é feita em função dos serviços logísticos demandados pela empresa. No caso do estudo encomendado pela Sugar, que constitui o escopo deste trabalho, o serviço demandado é o transporte de açúcar das Unidades Produtoras até os terminais multimodais e dali até o Porto de Santos. Dois modais estão envolvidos, no caso da Sugar, na operação do terminal A: o modal rodoviário e o modal ferroviário.

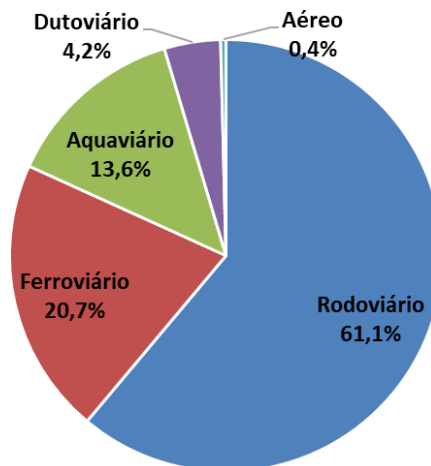


Figura 2 - Matriz de transportes brasileira (PNLT, 2011)

O modal rodoviário é o principal modal dentro da matriz de transporte brasileira. Segundo o Plano Nacional de Logística e Transportes (PNLT) elaborado pelo Ministério dos Transportes (2011) (Figura 3), 61% do transporte no Brasil é feito pelo modal rodoviário. O modal rodoviário é inferior em eficiência energética, ambiental e capacidade de transporte quando comparado aos modais ferroviário e aquaviário. Entretanto, segundo Novaes (2007), o modal rodoviário no Brasil é o que possui maior estrutura instalada em decorrência de políticas públicas praticadas nas últimas décadas, de forma que muitas vezes o modal rodoviário é a única opção, por falta de disponibilidade e estrutura dos outros modais, para transporte entre duas localidades. Ainda, segundo o autor, o modal rodoviário permite a entrega de porta a porta, flexibiliza os locais de entrega e facilita transferir cargas para outro modal. A malha rodoviária é a mais densa no país, com 1,72 milhões de quilômetros segundo a Confederação Nacional do Transporte (CNT) (2017).



Figura 3 - Malha rodoviária (BRASIL, 2011)

O modal ferroviário é o segundo maior na matriz brasileira de transportes, responsável por 20,7% do transporte brasileiro. O modal ferroviário apresenta vantagens em relação ao modal rodoviário, segundo Alves (2012), em trajetos de média e longa distância, em relação à eficiência energética e ambiental, ao custo de operação e à capacidade de transporte. Apresenta, segundo a mesma autora, baixos valores de frete e baixo consumo de combustível. Uma das principais características deste modal é que ele opera com grandes volumes de carga de baixo valor agregado, em geral commodities. Dentre as desvantagens, podemos citar sua baixa flexibilidade e a rota fixa. A malha ferroviária é uma pequena fração do que é a malha rodoviária, contando com apenas 28 mil quilômetros (CNT, 2017) e, em vários estados, muito escassa, como é possível ver na Figura 4.



Figura 4 - Malha ferroviária (BRASIL, 2011)

O terminal A é um terminal multimodal de carga. A Agência Nacional de Transportes Terrestres define como transporte multimodal um transporte que, entre a origem e o destino, use dois ou mais modais de transporte. O terminal desempenha a função de transbordo para o açúcar proveniente das usinas e com destino ao Porto de Santos para exportação.

Na economia Brasileira, o agronegócio é um dos mais importantes setores, sendo responsável por aproximadamente 23% do Produto Interno Bruto (PIB) e, de acordo com o Ministério da Agricultura (2017), nos últimos 20 anos, contou com taxa média de crescimento de 3% frente a 2,3% de taxa média de crescimento do PIB. Mesmo frente à recente crise econômica brasileira, o setor conseguiu manter um desempenho muito superior ao restante da economia, como mostra a Figura 5.

No primeiro trimestre de 2017 a economia agropecuária apresentou uma taxa de crescimento recorde em mais de 20 anos, crescendo 13,4% e é apontada como carro-chefe da expansão da economia. A Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA) (2017) estima uma taxa de 8,5% de crescimento do setor em 2017. O crescimento é devido em boa parte à safra recorde, favorecida pelo clima. As três principais culturas do setor, cana-de-açúcar, soja e milho, representam 60% da produção agrícola do país.

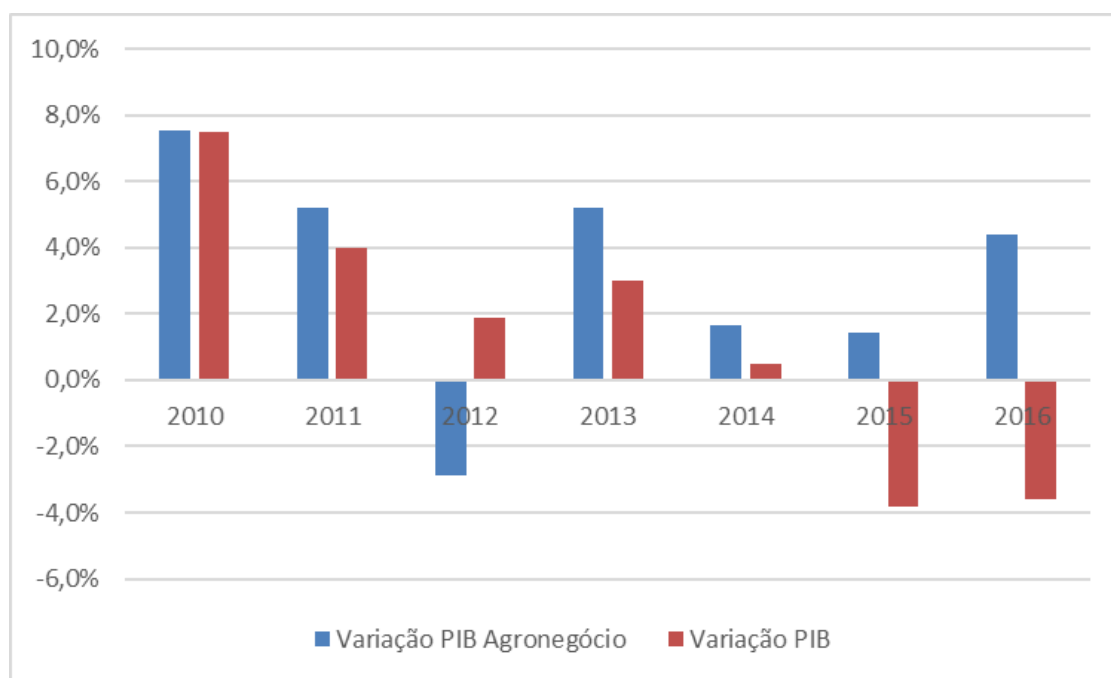


Figura 5 - Variação do PIB e do PIB do agronegócio (CEPEA, 2016)

Outro aspecto da economia que é impactado positivamente pelo agronegócio é a balança comercial, que no primeiro trimestre de 2017 acumulou superávit de US\$ 7,14 bilhões. A soja foi o principal produto exportado no trimestre, com crescimento de 26,38% em relação ao ano anterior. Já o volume exportado de açúcar bruto cresceu 30% no mesmo período e o de açúcar refinado, quase 60%. A exportação de açúcar no período foi de cerca de US\$ 2,5 bilhões.

As safras de cana de açúcar e açúcar são contabilizadas de abril do ano anterior até março do ano seguinte. A safra 2016-2017 foi de aproximadamente 650 milhões de toneladas segundo levantamento da União da Indústria de Cana-de-Açúcar (Unica, 2017), dos quais 47% foram destinados à produção de açúcar e 53% à produção de etanol, segundo relatório do Departamento de Pesquisas e Estudos Econômicos do Bradesco (Depec – Bradesco, 2017).

O açúcar pode ser produzido tanto em regiões de clima tropical, com a cana, quanto em regiões de clima frio, com o uso de beterraba e milho. A produção feita a partir da cana tem custo menor e maior rendimento, e representa 80% do açúcar produzido no mundo. O açúcar é uma commodity e a sua exportação varia muito em função da cotação do Real frente às outras moedas; uma valorização da moeda nacional desestimula a exportação do produto.

O Brasil é o maior produtor mundial de açúcar, sendo responsável por cerca de 20% do açúcar produzido mundialmente. Na safra 2016-2017 foram produzidos 38 milhões de toneladas de açúcar no Brasil, dos quais quase dois terços na região Sudeste, com São Paulo sendo responsável por 55% da produção nacional. Sendo o maior produtor e apenas o quarto maior consumidor (atrás de Índia, União Europeia e China), o país é também o maior exportador do produto, sendo responsável por 43% da exportação mundial. Cerca de 70% do açúcar produzido foi destinado à exportação, principalmente para países como China, Bangladesh, Argélia e Índia. Na última safra, foram exportadas 28 milhões de toneladas de açúcar, volume correspondente a 11 bilhões de dólares.

Analisando o histórico de produção e exportação do açúcar dos últimos anos (Figura 6) é possível ver uma clara tendência de crescimento, com algumas oscilações. Nos últimos 16 anos, a taxa de crescimento médio anual das exportações foi de 7%.

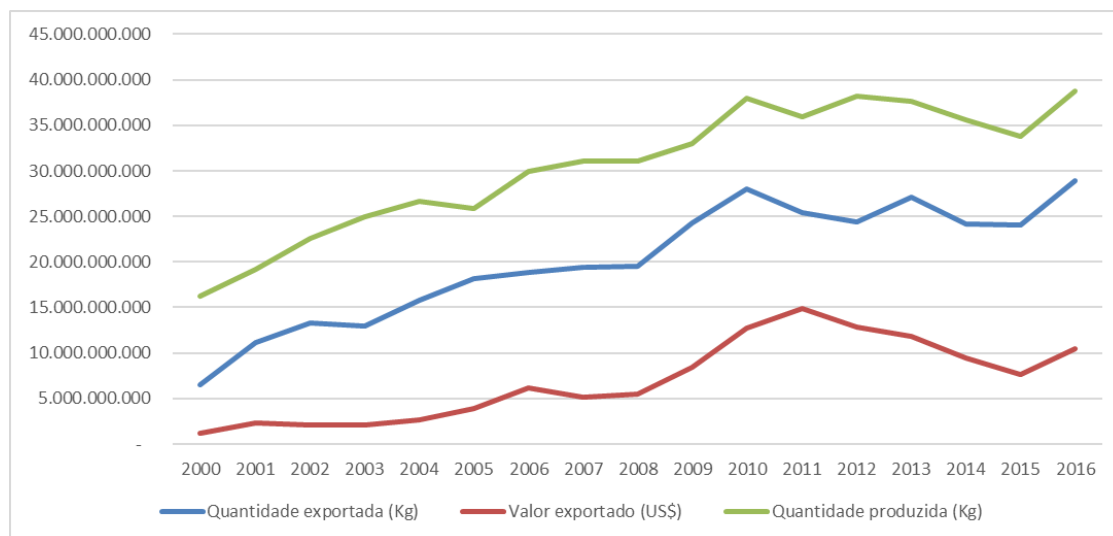


Figura 6 - Evolução da produção e exportação de açúcar (ÚNICA, 2017)

Para as próximas safras, a expectativa é que a produção e exportação de açúcar cresçam ainda mais. Segundo levantamento da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab, 2017) o mercado está muito favorável à produção e exportação de açúcar, devido ao clima, à abertura de novos mercados na União Europeia e à redução da safra na Índia. Estima-se que a produção de açúcar deva atingir 38,7 milhões de toneladas na safra 2017-2018. Apesar de provável redução na safra da cana-de-açúcar, o aumento da produção de açúcar deve-se à redução do percentual da cana destinado à produção de etanol.

A intenção da Sugar de ampliação de seus terminais é compatível com a situação econômica atual e com as previsões do mercado sucroenergético. Com as perspectivas positivas da safra de açúcar e a retomada da economia brasileira, o momento para investimentos em expansões de capacidade no setor açucareiro é oportuno.

O escoamento do açúcar para exportação é feito pelos principais portos brasileiros. Segundo levantamento da União da Indústria de Cana-de-açúcar (Unica, 2017), na safra 2016-2017, das 28 milhões de toneladas de açúcar que foram exportadas, 21 milhões foram escoadas através do Porto de Santos, mais de 75% do total. Grande parte do restante foi escoado pelo Porto de Paranaguá (19%), seguido pelo porto de Maceió (4%), fazendo com que cerca de 98% do açúcar exportado fosse embarcado apenas nestes três portos.

Esta concentração do açúcar brasileiro nos portos de escoamento deve-se principalmente à grande concentração da produção de açúcar na região Sudeste, responsável por 66% da produção do açúcar nacional. O Porto de Santos, porém, é também um dos principais portos

de exportação do milho e da soja, fazendo com que toda a logística de escoamento do açúcar das usinas até o Porto de Santos tenha que disputar espaço com a de outros grãos sólidos.

É neste aspecto que a presença de terminais intermodais, entre as usinas e os portos, desempenha papel fundamental na otimização da logística do transporte do açúcar.

2.2 PLANEAMENTO DE TERMINAIS INTERMODAIS

As funções desempenhadas por um terminal são de movimentação e armazenagem. Um terminal pode ser definido como um sistema que desempenha estas funções. Segundo Bertalanffy (1975), um sistema é um conjunto de unidades reciprocamente relacionadas; este conceito é facilmente aplicável também a um terminal. De fato, Churchman (1972) afirma que os principais itens necessários para definir um sistema são o objetivo do sistema, indicadores, o ambiente em que o sistema está inserido, suas restrições, os recursos disponíveis, os componentes do sistema (analisados como um subsistema da mesma forma que o próprio sistema é analisado) e sua administração, todos itens fundamentais na concepção de um terminal.

De Neufville e Stafford (1971) afirmam que após a caracterização do sistema de operações segue-se a geração de configurações alternativas e subsequente avaliação e seleção destas configurações, outra observação que se adequa ao escopo deste trabalho. Lima (1988) faz afirmação muito similar ao propor uma metodologia para projeto de terminais, metodologia que será uma das principais referências para a elaboração deste trabalho.

Hay (1977) afirma que os terminais possibilitam ganhos de escala, pois, através da concentração de tráfego, estes aumentam a eficiência do transporte de cargas. O principal parâmetro de dimensionamento de um terminal multimodal é a demanda diária de transbordo. Esta demanda pode ser estimada através da divisão da tonelagem média anual a ser processada pelo número de dias de operação. Considerar o valor obtido acrescido de 15 a 20 por cento permite levar em conta picos e oscilações. O autor afirma que a eficiência de um terminal pode ser medida através de três principais indicadores: o tempo de permanência de veículos, o custo de operação e a localização do terminal.

Para otimizar a eficiência de um terminal, a teoria de filas e as técnicas de simulação são ferramentas importantes, pois ajudam principalmente a dimensionar os recursos necessários

para otimizar a operação de um terminal. A falta de recursos pode provocar gargalos na operação, diminuindo a eficiência e aumentando os custos operacionais. Entretanto, o excesso de recursos também pode ser um problema. Como afirma Leftwich (1960), a lei dos rendimentos decrescentes afirma que aumentando a quantidade de um recurso enquanto a quantidade dos outros recursos permanecer constante, a quantidade total produzida aumentará, mas a partir de certo ponto a adição de quantidades adicionais daquele recurso contribuirá cada vez menos para o acréscimo da vazão. No longo prazo, todos os recursos são variáveis e, portanto, o custo de produção associado a eles torna-se variável também. Desta forma, podem haver economias ou deseconomias de escala.

Retornando às funções básicas do terminal de transporte e armazenagem, em relação ao transporte, Marques (1980) afirma que quatro fatores devem estar associados de forma integrada à movimentação de carga: movimento, tempo, quantidade e espaço. Já em relação à armazenagem, Moura (1987) afirma que os objetivos da armazenagem são a utilização máxima do espaço, utilização efetiva da mão de obra, facilidade de acesso à carga armazenada, movimentação eficiente, proteção à carga e serviço de boa qualidade. Segundo Lima (1988), para dimensionar um armazém é necessário conhecer o volume e o peso de cada módulo mínimo de armazenagem. Para graneis sólidos, outro parâmetro fundamental é o ângulo de caimento e o peso específico. O autor descreve três categorias de armazenagem:

- Armazenagem de interface: as dimensões do lote de entrada e saída são semelhantes, assim como os fluxos de entrada e saída.
- Armazenagem intermodal: os lotes de chegada e saída são diferentes, assim como os fluxos de entrada e saída.
- Armazenagem sazonal: quando há um período longo entre a entrada e saída dos produtos.

No caso do açúcar no terminal A, conforme já citado, lidamos com Armazenagem intermodal.

A presença de textos e autores que propõe projetos práticos de terminais, similares a este trabalho, é relativamente grande. Andrade (2003) faz um estudo do uso de cada modal de transporte no Brasil, ressaltando o domínio inaceitável do modal rodoviário em comparação a um modal subutilizado, o hidroviário. A presença de terminais de graneis sólidos em hidrovias do Brasil é baixa e os terminais presentes operam de maneira precária. Com o intuito de incentivar um aumento no uso do modal hidroviário para esta categoria de produto,

em seu trabalho, o autor elabora um projeto de um terminal de granéis sólidos localizado na hidrovia Tietê-Paraná.

Já Gonçalves (2015), em seu artigo, ressalta a ineficiência dos terminais de granéis sólidos brasileiros em relação ao aumento de filas de espera nos terminais e portos, causando um aumento dos custos operacionais. Ele propõe um estudo de avaliação de desempenho de um terminal de uso privativo no Espírito Santo através do uso de simulação por eventos discretos.

Similarmente, Iannoni (2000) realiza um estudo na recepção da cana-de-açúcar em uma grande usina em Ribeirão Preto. Usando simulação por eventos discretos, a autora avalia o sistema atual de chegada do açúcar, das balanças até as moendas, e propõe e avalia outras três alternativas para melhora do desempenho. Os principais indicadores de desempenho são a taxa de chegada do açúcar nas moendas e o tempo médio de permanência dos veículos no sistema de recepção.

Alves (2012) ressalta em seu trabalho a falta de infraestrutura dos portos e a escassez de terminais intermodais para granéis sólidos no Brasil. Ela estuda em particular os terminais de granéis sólidos no Porto de Santos e propõe alternativas para melhoria operacional através da simulação por eventos discretos.

Fernández (2014) desenvolve um trabalho de modelagem de um sistema intermodal de transporte de carvão na Colômbia, partindo do detalhamento dos seus componentes e parâmetros de entrada e utilizando simulação computacional por eventos discretos para estudar o desempenho deste sistema e como ele reagiria a variações na demanda de carvão. Importante ressaltar neste trabalho a revisão bibliográfica realizada sobre o tema de simulação. O autor compara os principais métodos encontrados na literatura sobre este tema e os passos enumerados por diferentes autores para abordar problemas de simulação.

Oliveira e Caixeta-Filho (2007) estudam a otimização da localização e capacidade de terminais intermodais de açúcar no estado de São Paulo de forma a melhorar a logística da exportação de açúcar do estado, sugerindo um aumento da participação do modal ferroviário nesta atividade.

A abundante presença de estudos que envolvem os principais temas deste trabalho não indica que haja uma riqueza equivalente de bibliografias que sugiram uma metodologia para projetos de terminais intermodais.

A tese de Lima (1988) propõe justamente uma metodologia para este tipo de projeto e é ainda hoje referência sobre este tema. Em seu texto, o autor afirma que o transporte se origina do fato de que os locais de produção e consumo não coincidem. Os terminais de carga nascem da necessidade de maior flexibilidade e economicidade no transporte de carga e o terminal de carga é definido como a interface entre sistemas de transporte; sua função é a transferência de cargas.

Em um terminal são executados os seguintes serviços: recepção e expedição de veículos; desconsolidação e consolidação de cargas; armazenam; e transferências de cargas. Dentro destes serviços o autor elenca quatro grupos funcionais: entrada/saída e controle de acesso; áreas de regulação de fluxo de veículos; áreas de circulação e manobras; e elementos de carga e descarga.

Lima afirma que as características dos terminais dependem muito de fatores externos, aos quais ele dá o nome de ambiente, compreendendo a região onde está localizado o terminal, os veículos e equipamentos utilizados e a demanda e oferta de cargas.

Pensando no modal rodoviário, é preciso definir os componentes básicos presentes em terminais relacionados a este modal. Lima afirma que existem basicamente quatro componentes. O primeiro é relativo ao acesso, egresso e aos elementos de controle, ou seja, a conexão com a via pública, a presença de portarias e guaritas, balanças para pesagem e postos de amostragem. O segundo é a área que regula o fluxo de veículos, onde os caminhões aguardam para serem processados. O terceiro é composto pelas áreas de manobra e circulação e o quarto são os pontos onde efetivamente ocorre o carregamento ou descarregamento de carga.

Falconer (1979) afirma que o setor rodoviário de um terminal de carga deve ter a melhor condição para que os caminhões circulem na configuração atual e em eventuais alterações futuras. Fatores a serem considerados são o tipo de veículo, o modo de armazenagem e a carga. O estacionamento dos caminhões pode ser feito de forma longitudinal, perpendicular ou inclinada, ou uma combinação destas formas.

Em relação ao modal ferroviário temos, em primeiro lugar, similarmente ao modal rodoviário, a parte de acesso e egresso, que no modal ferroviário inclui edifícios de controle e comando, chaveamentos, sistema de sinalização e depósito e tração. A decomposição, classificação e recomposição dos trens formam o segundo componente.

O terceiro componente é a área de regulação de fluxo de vagões. Hennes e Ekse (1963) sugerem como estimativa inicial da capacidade ótima deste subsistema valor 10% superior que a taxa média de chegada de vagões. Este subsistema é responsável por otimizar a operação de carga, descarga e manobra da composição. Finalmente, o último componente é área onde acontece a efetiva carga e descarga.

As cargas que chegam ao terminal precisam ser direcionadas aos armazéns onde ficaram estocadas até que sigam para seu destino final, momento no qual a carga deve ser novamente transportada para os trens. Este processo de direcionamento das cargas pode ser dividido em dois aspectos: um aspecto dinâmico que envolve o transporte das cargas dentro do terminal e um aspecto estático associado à armazenagem.

Ambos são fundamentais para que o descarregamento na chegada das cargas e o carregamento na saída das cargas sejam feitos de maneira rápida e eficiente. Rives (1980) propôs algumas fórmulas para dimensionamento da área destinada à carga e descarga de veículos terrestres, levando em consideração diversas variáveis como grau de paletização, fator de empilhamento e tráfego diário.

A metodologia proposta por Lima está dividida nas seguintes fases: especificação do problema, caracterização e dimensionamento de componentes, geração de soluções alternativas, avaliação destas alternativas e seleção da solução mais adequada.

No caso dos terminais, a primeira fase de especificação do problema requer os dados relativos à demanda de transbordo, a oferta de transporte e as localidades geográficas envolvidas. A partir disto surge naturalmente a necessidade de definir as características da carga, dos modais de transporte envolvidos, da frota usada no transporte. Em geral existe um modal que dita o ritmo operacional do terminal, que é o modal de maior capacidade. Em relação aos locais envolvidos, algumas características importantes são: a área ocupada, a topografia da região e vias de acesso.

A segunda etapa proposta por Lima é a caracterização e dimensionamento de componentes, que ele divide em cinco partes: entrada/saída (incluindo portarias e guaritas de controle), área de carga e descarga, áreas dedicadas à circulação e manobras de veículos, áreas de estacionamento e filas, equipamentos para movimentar as cargas e áreas de armazenagem. É importante também descrever as características técnicas dos componentes, suas dimensões e sua capacidade.

Com a caracterização e dimensionamento de componentes é possível projetar o terminal com todos seus componentes, decidindo a capacidade e quantidade de cada um, além do arranjo físico destes componentes no terminal. O objeto de estudo do arranjo físico, segundo Costa Neto (1978), é buscar a disposição ótima de equipamentos, materiais e mão-de-obra no espaço. Muther (1973) afirma que o arranjo físico deve sempre considerar os seguintes elementos fundamentais: carga, quantidade, roteiro, serviços de suporte e o tempo.

A quantidade de cada componente, as características de cada um e o arranjo físico destes componentes geram infinitas alternativas. É necessário agora estudar a eficiência das melhores alternativas através de ferramentas adequadas, como a simulação por eventos discretos. A partir deste ponto estabelece-se um processo iterativo que consiste em elaborar novas configurações do terminal (com novos arranjos físicos e alterando os números e as capacidades dos diversos componentes) e avaliar estas alternativas em busca da melhor solução.

O próximo passo é dimensionar e identificar os custos e investimentos envolvidos em cada uma destas alternativas selecionadas. As curvas de operação do terminal podem ser elaboradas para dimensionar o custo por tonelada movimentada. O fim desta etapa tem por objetivo contar um número de alternativas viáveis e não apenas a solução ótima.

Para comparar estas alternativas, não é viável o uso de apenas um indicador e, portanto, Lima sugere o uso de uma matriz de decisão, além do estudo das curvas de operação e dos indicadores econômicos e financeiros. De posse de todas estas informações o projetista fará a escolha da solução final.

2.3 SIMULAÇÃO POR EVENTOS DISCRETOS

Teoria de filas é o estudo, através de modelos matemáticos, de determinados sistemas. Winston (1994) afirma que para descrever tais sistemas, é necessária a descrição de um processo de chegada, de fila e de atendimento/partida; se é possível a ocorrência de mais de uma chegada em um dado instante, fala-se de “chegadas em massa”. O processo de chegadas pode ser descrito pelo intervalo entre chegadas.

A terminologia usada por Winston (1994) usa clientes para representar a entidade que chega no sistema. O processo de saída, também chamado de tempo de serviço, também é muitas

vezes descrito por uma distribuição de probabilidade. A aleatoriedade de chegadas e saídas provoca a criação de uma fila. Quando a taxa de atendimento é menor que a taxa de chegada, esta fila tende ao infinito.

Outra variável importante é a disciplina da fila, ou seja, o critério usado para atendimento dos clientes na fila. Uma das disciplinas mais comuns é a *First In First Out* (Fifo), onde o cliente que chegou primeiro é atendido antes dos demais. Outra disciplina muito utilizada é a *Last In First Out* (Lifo), onde o último cliente a chegar é atendido primeiro. Existem ainda diversas outras possibilidades.

Segundo Winston (1994), o estado de um sistema de filas em um determinado instante é definido pelo número de clientes presentes naquele sistema naquele instante. Uma variável muito importante na teoria de filas é a probabilidade que em um determinado instante “ t ” existam “ j ” pessoas no sistema, dado que no instante zero, “ i ” pessoas estavam no sistema. Em diversos sistemas de filas, para um t suficientemente grande, afirma o autor, esta probabilidade se aproximará de um limite π que é independente do estado inicial “ i ”. Caso isso ocorra, afirma-se que o sistema entrou em regime permanente ou de equilíbrio. Em outras palavras, π representa a fração de tempo em que “ j ” pessoas estão no sistema.

Em sistemas complexos, onde ocorrem diversos pontos de chegadas, atendimentos, e onde as taxas de chegada e atendimento variam em função do tempo e de outros parâmetros, a teoria de filas se torna uma ferramenta pouco prática para análise destes sistemas. Neste âmbito, entra a simulação.

A simulação, segundo Winston (1994), é uma ferramenta poderosa e muito usada para tomadas de decisões em problemas do mundo real onde não é possível utilizar a teoria de filas ou outras ferramentas da pesquisa operacional para modelar e analisar um sistema. A simulação pode ser definida, segundo o autor, como uma técnica onde a operação de um sistema do mundo real ao longo do tempo é imitada, através do desenvolvimento de um modelo de simulação. Segundo Chwif e Medina (2010), a simulação computacional é uma ferramenta que permite a análise de diversos cenários. Para Shannon (1998), a simulação consiste na elaboração de um modelo de um sistema existente e na condução de experimentos neste modelo, com o intuito de estudar o comportamento do sistema.

No modelo de simulação, uma série de premissas sobre a operação do sistema são representadas por relações lógicas e matemáticas entre os objetos do sistema. No lugar das

soluções matemáticas exatas de outras ferramentas da pesquisa operacional, como a teoria de filas, na simulação o modelo é executado ao longo do tempo em um computador, para gerar amostras representativas dos indicadores de desempenho.

A simulação evita a necessidade de que se adotem premissas muito simplificadoras, permitindo uma representação mais fiel do sistema real. Outra vantagem da simulação é que, uma vez que o modelo é construído e validado, é possível testá-lo com outras configurações e parâmetros e estudar o impacto que estas alterações produzem nos indicadores.

As definições de simulação citadas acima mencionam alguns termos que devem ser definidos, como sistema e modelo. Winston (1994) cita a definição de sistema de Schmidt e Taylor (1970), que definem como sistema uma coleção de entidades que agem e interagem para o cumprimento de um fim lógico. Chwif e Medina (2010) usam a definição feita por Forrester (1994), que afirma que um sistema é um grupo de partes que operam juntas para atingir um objetivo em comum.

Um sistema passa por diversos estados ao longo do tempo. Estado é definido por Winston (1994) como uma coleção de variáveis necessárias para descrever o estado do sistema em um determinado instante. O modelo pode ser discreto ou contínuo. Em um sistema discreto, as variáveis do estado mudam apenas em pontos discretos do tempo. Já em um sistema contínuo, as variáveis podem mudar continuamente ao longo do tempo.

De acordo com Shannon (1998), um modelo é uma representação de um sistema feito de forma diferente daquela da entidade em si. Os modelos de simulação, segundo Winston (1994), podem ser enquadrados em diversas classificações: estático ou dinâmico; discreto ou contínuo; determinístico ou estocástico.

Modelos de simulação estáticos são a representação de um sistema em um determinado instante de tempo. Modelos de simulação dinâmicos representam um sistema e sua evolução no tempo. A diferença entre modelos discretos ou contínuos é a mesma entre sistemas discretos e contínuos. Modelos determinísticos não possuem nenhuma variável aleatória. Modelos estocásticos possuem uma ou mais variáveis aleatórias.

No caso deste trabalho, será desenvolvido um modelo de simulação por eventos discretos, que pode ser classificado como discreto e probabilístico. Por evento, entende-se uma situação que faz com que o estado de um sistema se altere instantaneamente.

Alguns exemplos de variáveis de estado são o número de entidades numa fila, o número de entidades que entraram no sistema ou o número de entidades processados num recurso. Na simulação por eventos discretos, estas variáveis mudam instantaneamente. Por exemplo, a fila no instante t passa de zero pessoas para uma pessoa. Isso não ocorre de forma contínua, mas sim discreta, instantânea. Law (2007) define a simulação de eventos discretos como a modelagem de um sistema dinâmico onde as variáveis de estado mudam de maneira instantânea em diferentes pontos no tempo.

Muitos autores discorrem sobre a metodologia de projetos de simulação. O processo para que seja feito um estudo de simulação envolve diversos passos e cada autor apresenta um passo a passo diferente. Fernández (2014), em sua tese, faz uma revisão bibliográfica muito completa dos métodos propostos por diversos autores para o desenvolvimento de um projeto de simulação. O autor compara o passo a passo dos diversos métodos dos diversos autores, de forma a fornecer um panorama completo das opções disponíveis para elaborar um projeto de simulação estruturado (Tabela 1).

Processo Racional da Simulação						
Passo/Autor	Naylor et al (1971)	Knepell e Arangno (1993)	Pegden e Sadowski (1995)	Chwif (1999)	Botter (2002)	Law (2007)
1	Formulação do problema.	Qualificação	Definição do problema.	Concepção ou formulação do modelo.	Definição do problema.	Formulação do problema e planejamento do estudo.
2	Coleta e Processamento de dados.	Verificação	Planejamento do projeto.	Implementação do modelo.	Planejamento do projeto.	Coleta de dados e definição do modelo.
3	Formulação do modelo matemático.	Validação	Definição do sistema.	Análise dos resultados do modelo.	Definição do sistema.	Avaliação das suposições iniciais. Se não for válidas regressar ao passo 2.
4	Estimativa dos parâmetros.		Formulação conceitual do modelo.		Formulação conceitual do modelo.	Desenvolvimento do programa de computação e verificação.
5	Avaliação do modelo. Retorno ao passo a, se o modelo for rejeitado.		Projeto preliminar do experimento.		Projeto preliminar do experimento.	Fazer testes no programa. (Teste de rodadas).
6	Codificação do programa de computador.		Preparação dos dados de entrada.		Preparação dos dados de entrada. Ao final deste passo retornar ao passo 1.	Validação do modelo programado. Se não for válido voltar ao passo 2.
7	Validação.		Codificação do modelo.		Codificação do modelo.	Definição de projeto de experimento.
8	Projeto de experimentação.		Verificação e validação de modelo.		Verificação e validação de modelo.	Fazer o programa rodar.
9	Análise dos dados da simulação.		Projeto final do experimento.		Projeto final do experimento.	Análise dos dados de saída.
10			Experimentação.		Experimentação e análise de sensibilidade.	Documentação, apresentação e uso de resultados.
11			Análise e interpretação.		Análise e interpretação de resultados.	
12			Implementação e documentação.		Implementação e documentação.	

Tabela 1 - Metodologias de simulação (FERNÁNDEZ, 2014)

Naylor et al (1971) sugerem nove passos muito claros e bem definidos para o desenvolvimento de trabalhos de simulação.

Já Knepell e Arangno (1993) propõem uma metodologia baseada apenas em três passos: qualificação, verificação e validação. Estes passos, na verdade, ligam os principais componentes de um projeto de simulação: o problema, o modelo conceitual e o modelo computacional, conforme podemos ver na Figura 7.

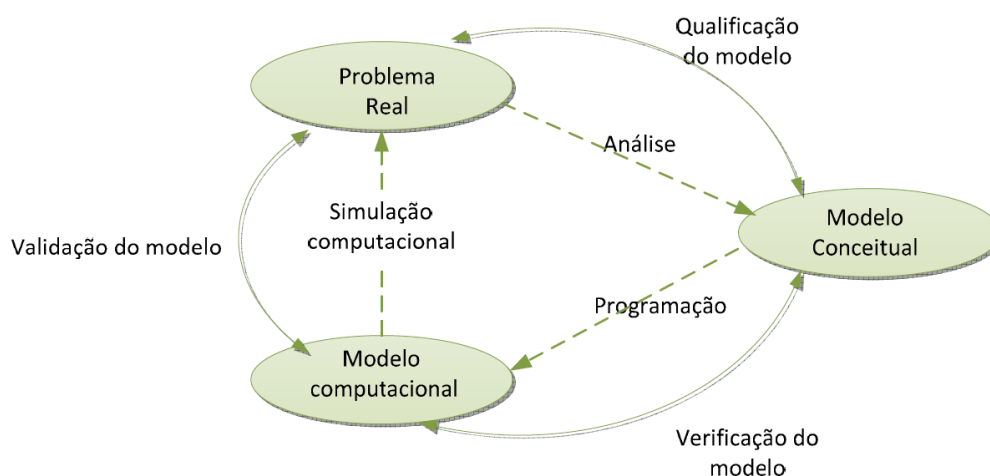


Figura 7 - Metodologia (Knepell e Arangno, 1993)

Chwif (1999) também apresenta uma proposta com apenas três passos. Os três passos propostos estão em quase todas as outras metodologias propostas, de forma que o autor sintetiza muito bem as três principais etapas na elaboração de um projeto de simulação.

Pegden e Sadowski (1995) apresentam o processo com o maior número de passos e um dos mais bem estruturados. O método proposto é muito similar àquele de Botter (2002), que inclui alguns pontos do modelo de Pegden e Sadowski (1995). Botter (2002) sugere que ao fim da coleta de dados se retorne ao passo 1, a definição do problema, propondo, assim, um processo com uma iteração para refinar as premissas básicas do projeto com base nas informações que realmente são conhecidas. Adicionalmente, junto com a experimentação, Botter (2002) propõe o uso da análise de sensibilidade, uma proposta muito interessante em certas situações.

Outro método interessante é proposto por Law (2007). O autor propõe que em dois pontos distintos se proceda uma verificação da validade do trabalho feito até aqui e em caso negativo que se retorne ao segundo passo, que é o da coleta de dados e definição de modelo. Os dois pontos em que isso acontece são: avaliação das suposições iniciais e validação do modelo programado.

Conforme afirmam Chwif e Medina (2010), na primeira etapa de um estudo de simulação o analista deve ter clara a concepção do sistema a ser simulado. É nesta etapa que o escopo do projeto é definido, assim como seu nível de detalhamento e suas hipóteses.

Neste trabalho, especificamente, como se trata de uma empresa de consultoria que presta serviços e desenvolve estudos de logística sob demanda para empresas, muitas vezes uma parte da definição do problema é feita pelo próprio cliente, quando procura a consultoria e informa seu problema ou necessidade. Entretanto, cabe ao grupo da consultoria que for designado àquele projeto se informar, questionar, realizar visitas técnicas, levantar algumas informações básicas preliminares para fazer um diagnóstico de qual, de fato, é a causa-raiz a ser atacada.

Em seguida à definição do problema, diversos autores sugerem como próximo passo a modelagem dos dados de entrada. Chwif e Medina (2010) afirmam que há três etapas a serem seguidas dentro deste passo: a coleta de dados, o tratamento dos dados e a inferência, descritas a seguir.

A coleta de dados corresponde à amostragem de valores de uma determinada variável, por exemplo, o tempo de processamento de uma máquina. A coleta de dados permite que o modelo seja capaz de representar o comportamento variável de um fenômeno; nesta etapa são usadas técnicas de cronometragem e cronoanálise. A amostra deve ser representativa, e Chwif e Medina (2010) apontam algumas regras práticas sugeridas por Vincent (1998) a serem adotadas: tamanho da amostra entre 100 e 200 observações; coletar as observações na ordem em que o fenômeno ocorre para avaliar correlação; e, se o horário, dia ou mês podem influenciar o fenômeno observado, devem ser feitas coletas em horários, dias e meses diferentes.

O tratamento dos dados é feito utilizando ferramentas para que se analisem os dados levantados e sejam identificadas possíveis falhas nos valores amostrados. A análise de *outliers* neste ponto é fundamental, pois permite que sejam removidos da amostra valores que distorcem as estimativas, os níveis de significância dos testes estatísticos e resultam em distribuições de probabilidade que não refletem o fenômeno estudado. Uma das técnicas mais utilizadas para a retirada de outliers é utilizando os quartis da amostra. Primeiro, calcula-se a amplitude interquartil:

$$A = Q_3 - Q_1$$

Em seguida, consideram-se como outliers moderados todos os pontos que estiverem abaixo de $Q_1 - 1,5A$ ou acima de $Q_3 + 1,5A$ e como outliers extremos todos os pontos que estiverem abaixo de $Q_1 - 3A$ ou acima de $Q_3 + 3A$. A partir deste ponto, cabe ao modelador bom senso

para saber se todos estes outliers devem ser de fato retirados ou se algum deles deve ser mantido. Após a retirada dos outliers, é necessário avaliar se existem correlações entre as observações da amostra, que geralmente ocorrem em situações em que existe uma “curva de aprendizado” ou quando existem correlações entre as variáveis aleatórias do sistema.

A inferência é a atribuição de uma distribuição de probabilidade que seja capaz de representar os dados coletados e tratados. Existem algumas técnicas para que seja feita a inferência como o histograma, o teste do qui-quadrado e o teste de Kolmogorov-Smirnov. Entretanto, a maioria dos softwares de simulação conta com recursos capazes de fazer o *fitting* dos dados a uma distribuição de probabilidade.

A formulação conceitual do modelo é um passo apontado por todos os autores citados no quadro da Tabela 1. Law aponta o modelo conceitual como o passo mais importante de um estudo de simulação. Chwif e Medina (2010) dedicam um capítulo inteiro em seu livro a este passo. Os autores listam uma série de itens que devem compor a especificação do modelo de simulação:

- Objetivos
- Conteúdo
- Entradas
- Saídas
- Hipóteses e simplificações do modelo
- Definições de rodadas

Os objetivos podem ser tanto a identificação de problemas na operação do sistema atual (lead time alto, muitas filas, etc.) quanto o atingimento de uma meta (aumento da capacidade, metas de produtividade, etc.). Já o conteúdo deve conter o escopo, o nível de detalhamento e a descrição do fluxo do modelo do sistema. Os autores apontam duas ferramentas úteis para a descrição do fluxo: *Activity Circle Diagrams* (ACD) e *Process Networks* (PN).

O ACD é uma forma de modelagem que permite representar as interações entre os objetos de um sistema separando-as entre apenas duas categorias: fila e atividade. Entidades são definidas como componentes que retêm sua identidade ao longo do tempo. As entidades podem representar, portanto, clientes em um banco ou produtos em uma fábrica. As entidades aguardam nas filas até que algum evento aconteça. Já a atividade representa a interação de

uma ou mais entidades e recursos em um processo, como o atendimento de um cliente em um caixa do banco ou o descarregamento de um caminhão.

O tempo para realização de uma atividade é determinado a priori e pode ser representado, por exemplo, por uma distribuição de probabilidade. Já o tempo que a entidade fica numa fila não é conhecido e depende da duração das atividades anteriores, posteriores e do número de entidades no sistema. Após a determinação de o que são atividades e o que são filas, é necessário criar os ciclos de vida individuais de cada entidade. Pensando novamente em clientes numa fila de banco, o cliente espera na fila e é atendido, conforme a Figura 8.



Figura 8 - Exemplo de ACD do cliente

Já o atendente do banco espera a chegada de clientes e atende o cliente, conforme a Figura 9. É importante ressaltar que no ACD, por definição, todas as atividades devem se alternar com filas. A Figura 8 ilustra o ciclo de vida do cliente no banco, enquanto a Figura 9 ilustra o ciclo de vida do funcionário.

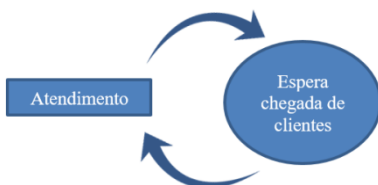


Figura 9 - Exemplo de ACD do atendente

Uma vez que os ciclos de vida individuais sejam criados, eles são reunidos para formar o ACD completo, conforme a Figura 10.

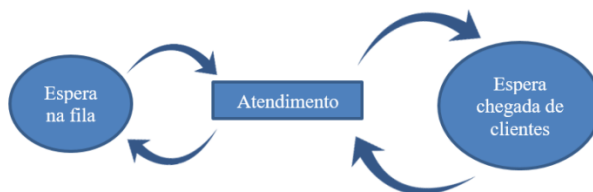


Figura 10 - Exemplo de ACD do sistema

O conceito de *Process Networks* (PN) é diferente do ACD. Com a visão de processos, o fluxo é representado por alguns tipos de blocos: chegada, fila, atraso, processo com recurso, condicional e saída. A chegada representa a chegada de entidades no sistema. A fila continua com o mesmo conceito do ACD. A diferença entre atraso e processo com recurso é que no caso do primeiro, temos um processo que consome tempo onde só a entidade está envolvida. Em um processo com recurso, entretanto, a entidade interage com outra entidade fixa, chamada recurso. Condicional é um ponto de decisão onde se gera um desvio de fluxo se certa condição for observada. O PN é uma ferramenta que se aproxima muito mais dos softwares de modelagem computacional, pois na grande maioria destes softwares existem justamente estes blocos de entrada, fila, saída e processo. Assim, a modelagem conceitual feita com esta ferramenta fica mais facilmente traduzível para o modelo computacional.

Após a parte de conteúdo, o modelo conceitual deve conter as entradas, ou seja, os parâmetros que serão inseridos no modelo de simulação, como os tempos operacionais e os intervalos de chegada, que podem ser representados por distribuições de probabilidade. Se algum parâmetro ainda não for conhecido, basta indicar o procedimento que será usado para obtê-lo, como, por exemplo, o uso de séries históricas, ou amostragem através de cronometragens.

Naturalmente, é preciso que no modelo conceitual sejam descritas as saídas, ou seja, os indicadores de desempenho que quantificam se o objetivo foi atingido. Em geral, utilizam-se métricas como número de entidades recebidas, número de entidades produzidas, tamanho médio de filas, taxa de utilização dos recursos e tempo médio de espera.

As hipóteses e simplificações do modelo são premissas que foram adotadas para permitir ou simplificar a modelagem. Estas hipóteses são um reflexo do nível de detalhamento do modelo, definido na parte de conteúdo, explicada acima. Finalmente as definições de rodadas são os cenários que serão simulados ou o plano de experimentação que será adotado, como, por exemplo, a movimentação de carga que uma empresa de açúcar deseja atingir em seu terminal intermodal.

Chwif e Medina (2010) afirmam que após a construção do modelo conceitual é necessária sua validação. Os autores distinguem entre validação e verificação. A validação sempre se refere ao modelo conceitual, enquanto a verificação se aplica sempre ao modelo computacional. A validação, portanto, refere-se à capacidade do modelo conceitual de representar e comportar-se como o mundo real ou o sistema que se deseja apresentar. Depende dos dados de entrada,

do nível de detalhamento e do escopo do modelo. Já a verificação refere-se à fidelidade do modelo computacional em relação ao modelo conceitual.

Uma analogia usada pelos autores é que a verificação equivale a retirar os bugs de um código de programação convencional. Os autores citam ainda outra analogia para diferenciar entre validação e verificação, usando o exemplo de uma fila de um caixa onde o tempo de atendimento varia com o tipo de cliente e a ordem de atendimento da fila é FIFO, porém algumas pessoas têm atendimento prioritário, como gestantes e idosos. Se para este sistema do mundo real for construído um modelo conceitual onde o tempo de atendimento é representado simplesmente pela média aritmética dos tempos de atendimento observados com uma fila Fifo simples, podemos afirmar que este modelo não é válido, pois ele não representa de maneira fiel o sistema desejado.

Entretanto, este modelo conceitual inválido pode ser traduzido corretamente para um simulador, fazendo com que o processo de verificação aprove o modelo computacional, pois o modelo está livre de bugs, representa de maneira fiel o modelo conceitual e pode ser executado normalmente. A validação, portanto, é o passo que vem após a formulação do modelo conceitual e antes da implementação do modelo computacional.

Após a formulação conceitual do modelo e sua validação, é necessário a elaboração do modelo computacional. Isto pode ser feito de três maneiras: utilizando linguagem de programação, utilizando linguagem de simulação ou utilizando um simulador. A utilização de um simulador é certamente o método mais acessível para quem não tem capacidades avançadas em programação, ainda mais com a ampla disponibilidade no mercado de simuladores extremamente versáteis e potentes.

Com a construção do modelo em um simulador segue naturalmente a sua verificação, explicada no último parágrafo. Os autores sugerem algumas ferramentas para a verificação: a observação da animação gráfica do modelo quando este é simulado no tempo, possibilitando ver a movimentação das entidades através dos recursos; implementação e verificação modular, ou seja, a construção do modelo em pequenas unidades que são executadas e verificadas individualmente, facilitando a identificação de erros; uso de valores constantes que permitem cálculos rápidos: substituir temporariamente distribuições de probabilidade por valores determinísticos para verificar rapidamente se o modelo está funcionando corretamente. Por exemplo, com uma taxa de chegada fixa de 10 minutos e um tempo de

atendimento de oito minutos, a taxa de ocupação do recurso deve ser de 80% obrigatoriamente. Essa conta fica muito mais complexa se considerarmos distribuições de probabilidade.

Após a verificação do modelo de simulação, Chwif e Medina (2010) abordam a análise de resultados e o dimensionamento de corridas. Para isso, definem regime transitório como o período em que as condições iniciais do sistema afetam seu comportamento e regime permanente como o ponto a partir do qual as condições iniciais não afetam mais o comportamento do sistema. Distinguem também entre simulação terminal, simulação onde é conhecido o tempo de início e fim da simulação, pois o sistema também possui um período de início e fim (horário de abertura e fechamento de um banco, por exemplo), e simulação não terminal, onde o analista precisa decidir quando a simulação será terminada.

Outra definição importante é a de replicação, que consiste na execução da simulação com os mesmos parâmetros, porém usando uma semente de geração dos números aleatórios diferente. Como diversas variáveis do modelo são distribuições de probabilidade, a cada replicação produzem-se resultados diferentes. Desta forma, uma replicação não é suficiente para que se estudem as medidas de desempenho.

Existem métodos estatísticos para a determinação do número de replicações, baseado no intervalo de confiança e na precisão desejada. Os autores dão o exemplo de um pub onde se deseja conhecer o tempo médio de permanência do cliente no estabelecimento com um intervalo de confiança de 95% ($\alpha=0,05$) e uma precisão h de no máximo 0,5 minuto. O primeiro passo é a obtenção de uma amostra-piloto, ou seja, de realizar n replicações (10, por exemplo) para obter um primeiro intervalo de confiança para o tempo médio de permanência obtido em cada replicação. Com as replicações, obtêm-se 10 valores, podendo calcular sua média μ e seu desvio-padrão s . O segundo passo é obter de uma tabela da distribuição de Student o percentil $1 - \alpha/2$ com $n-1$ graus de liberdade:

$$t_{n-1, \alpha/2}$$

Em seguida calcula-se a precisão h obtida com estas n replicações:

$$h = t_{n-1, \alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Agora, compara-se o h obtido com o h desejado (de 0,5 minutos no nosso exemplo). Caso o h obtido seja maior que o desejado, é possível calcular finalmente o número de replicações necessárias n^* para obter o h^* desejado:

$$n^* = n \left(\frac{h}{h^*} \right)^2$$

Em seguida, executa-se o modelo por n^* replicações. Finalmente, é possível afirmar que existe uma probabilidade de 95% de que o tempo médio de permanência esteja entre $\mu - h^*$ e $\mu + h^*$. Dispondo agora de todas as ferramentas necessárias, é possível realizar experimentos com o modelo, testar novas configurações, alterar premissas e buscar atingir o objetivo da simulação.

3 MÉTODO

Os passos necessários para a execução de um estudo de simulação bem-sucedido são chamados “metodologias de simulação” ou “ciclos de vida de um modelo de simulação” (Chwif e Medina (2010) apud Law e McComas (1991)).

A Tabela 2 apresenta novamente a tabela das metodologias de simulação, mas desta vez apresenta também o método que será utilizado neste trabalho. É possível ver que o método utilizado não passa de uma combinação e síntese dos métodos apresentados pelos autores.

Processo Racional da Simulação						
Passo/Autor	Naylor et al (1971)	Kneppell e Arangno (1993)	Pegden e Sadowski (1995)	Chwif (1999)	Botter (2002)	Law (2007)
1	Formulação do problema.	Qualificação	Definição do problema. 1	Concepção ou formulação do modelo.	Definição do problema.	Formulação do problema e planejamento do estudo. 2
2	Coleta e Processamento de dados. 3	Verificação	Planejamento do projeto.	Implementação do modelo.	Planejamento do projeto.	Coleta de dados e definição do modelo.
3	Formulação do modelo matemático.	Validação	Definição do sistema.	Análise dos resultados do modelo.	Definição do sistema.	Avaliação das suposições iniciais. Se não for válidas regressar ao passo 2.
4	Estimativa dos parâmetros.		Formulação conceitual do modelo. 4		Formulação conceitual do modelo. 5	Desenvolvimento do programa de computação e verificação.
5	Avaliação do modelo. Retorno ao passo a, se o modelo for rejeitado.		Projeto preliminar do experimento.		Projeto preliminar do experimento.	Fazer testes no programa (Teste de rodadas).
6	Codificação do programa de computador.		Preparação dos dados de entrada.		Preparação dos dados de entrada. Ao final deste passo retornar ao passo 1.	Validação do modelo programado. Se não for válido voltar ao passo 2. 6
7	Validação.		Codificação do modelo.		Codificação do modelo.	Definição de projeto de experimento.
8	Projeto de experimentação.		Verificação e validação de modelo.		Verificação e validação de modelo.	Fazer o programa rodar.
9	Análise dos dados da simulação.		Projeto final do experimento.		Projeto final do experimento.	Análise dos dados de saída.
10			Experimentação. 7		Experimentação e análise de sensibilidade.	Documentação, apresentação e uso de resultados.
11			Análise e interpretação.		Análise e interpretação de resultados. 8	
12			Implementação e documentação.		Implementação e documentação.	

Tabela 2 - Método escolhido (adaptado de MURCIA FERNANDEZ, 2011)

O método que será seguido para a elaboração deste trabalho é:

1. Definição do problema
2. Planejamento do estudo

3. Coleta e processamento de dados
4. Formulação conceitual do modelo
5. Desenvolvimento do programa de computação e verificação
6. Definição do projeto de experimentação
7. Experimentação
8. Análise e interpretação dos resultados

A Figura 11 apresenta de forma mais clara o método proposto.

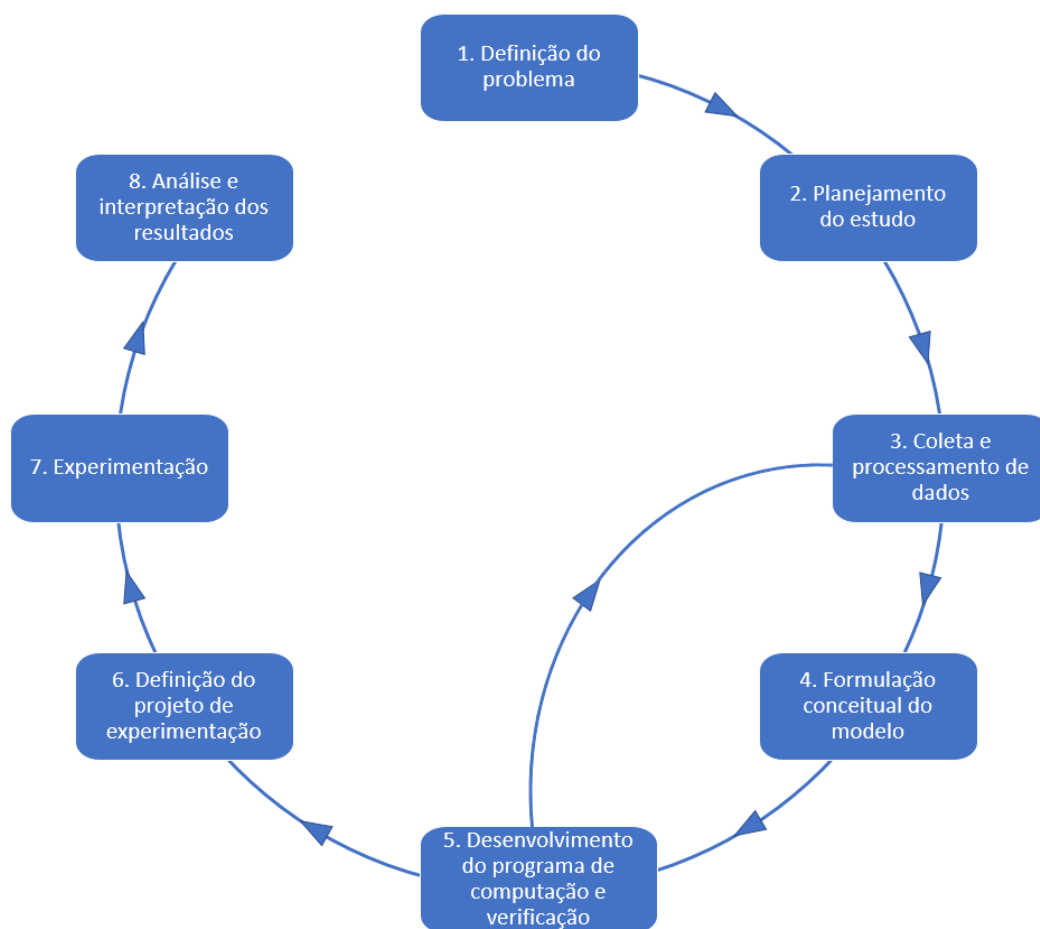


Figura 11 - Ilustração do método

Chwif e Medina (2010) afirmam que, em estudos práticos, é possível que ocorram diversas realimentações e iterações no processo conforme o entendimento do problema evolui. Isto deve ser considerado no método apresentado, que apesar de não mostrar visualmente a possibilidade destas realimentações, o autor entende que elas não só podem ocorrer como devem ocorrer em certas situações.

Entretanto, o autor deste trabalho julgou necessário adicionar uma destas realimentações na ilustração dos passos do método: no passo 5 “Desenvolvimento do programa de computação e verificação” temos a possibilidade de ter que voltar ao passo 3 “Coleta e Processamento de dados”, caso o modelo computacional não seja validado. Esta necessidade deriva do fato que o maior indicador de que há algo errado no projeto acontece na fase em que o modelo é executado na prática. Por mais que seja possível identificar previamente qualquer problema nas fases anteriores se tudo for feito com excessiva cautela e meticulosidade, o modelo computacional ajuda a visualizar estes erros de forma mais rápida, prática e clara, na forma de gráficos, indicadores de desempenho e outras ferramentas visuais.

4 PROJETO

Este capítulo apresenta as etapas do projeto de simulação do terminal intermodal da Sugar que será desenvolvido seguindo o método definido no capítulo anterior e utilizando o software de simulação Flexsim[®]. A escolha do uso do software Flexsim[®] deve-se ao fato de que este é o software utilizado na empresa onde o autor trabalha, além de atender plenamente as necessidades do projeto.

4.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA E OBJETIVO

Frente à previsão de aumento de safras e de demanda, a Sugar precisa ampliar a capacidade de operação de seu terminal. O objetivo deste estudo é o de entender as modificações necessárias para comportar este aumento de capacidade através da elaboração de um modelo computacional de simulação de eventos discretos.

Este estudo será elaborado em base aos conceitos vistos na revisão bibliográfica de simulação de eventos discretos e adotando o método detalhado no capítulo 3. O escopo do projeto, o nível de detalhamento e as hipóteses utilizadas foram acordados entre a Sugar e a Pöyry em proposta técnica e transmitidas ao autor deste trabalho, responsável pela elaboração do estudo de simulação do terminal A.

O escopo deste estudo fica restrito à operação interna do terminal. Não serão feitos estudos de dimensionamento de frota ou considerações em relação às distâncias percorridas pelos caminhões e trens ou às suas origens e destinos. O processo começa com a chegada de um caminhão cheio na portaria e termina com a saída do trem cheio do terminal.

Serão modeladas as principais atividades que ocorrem entre estes dois eventos e serão considerados os principais ativos do terminal que fazem parte das etapas de recepção do açúcar (portaria, amostragem, balanças e moega), da movimentação do açúcar dentro do terminal (correias e elevadores), do armazenamento do açúcar (armazém) e da expedição do açúcar (tulha, trator e linhas férreas); equipamentos secundários que auxiliam na operação destes ativos como motores, turbinas, peças de manutenção, circuitos elétricos, tubulações e outros serão desconsiderados. Os trabalhadores do terminal também não serão incluídos no modelo.

O modelo usa como principal parâmetro de entrada dos recursos o tempo de processamento de cada atividade. As distâncias só foram consideradas na movimentação dos caminhões no sistema de recepção do açúcar. Algumas premissas foram solicitadas pelo cliente e algumas foram adotadas pelo autor e aprovadas pelo cliente e serão indicadas em momento oportuno.

4.2 MODELO CONCEITUAL

A Sugar está contemplando dois cenários para o aumento da capacidade do terminal, que atualmente movimenta 600 mil toneladas por ano: aumento para 1,0 milhão de toneladas por ano (cenário 1) e aumento para 1,4 milhão de toneladas por ano (cenário 2), conforme Tabela 3. A quantidade movimentada anualmente, ou demanda anual, será descrita doravante como “DA”.

Demanda anual atual	600,000 toneladas por ano
Demanda anual – cenário 1	1,000,000 toneladas por ano
Demanda anual – cenário 2	1,400,000 toneladas por ano

Tabela 3 - Valores da Demanda Anual (DA) a serem estudados

O modelo será então construído para refletir a operação atual de 600 mil toneladas e na etapa de experimentação o fluxo será aumentado para as duas quantidades referidas para estudar os impactos e as alterações necessárias para que o terminal mantenha seu desempenho com estes aumentos de fluxo. Para a construção do modelo conceitual, é importante retomar o fluxograma apresentado no capítulo 1.

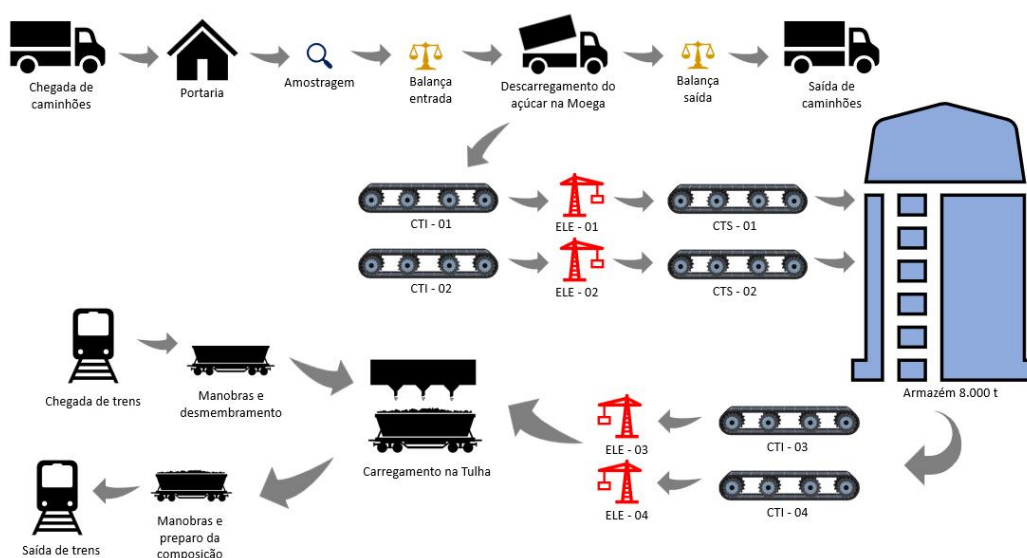


Figura 12 - Fluxograma do terminal

O passo a passo da operação, já explicado no capítulo 1, está representado no fluxograma da Figura 12 e detalhado em seguida.

A operação rodoviária de recebimento do açúcar tem início quando os caminhões, previamente agendados, passam pela portaria do terminal. Em seguida, seguem para um ponto onde é feita uma amostragem da carga ainda no interior do veículo para garantir sua qualidade.

Após a amostragem, os caminhões aguardam em fila para serem pesados em uma balança rodoviária. Após a pesagem, os caminhões seguem para a moega onde é feito o descarregamento do açúcar. Finalmente, os caminhões vazios são pesados na saída em outra balança rodoviária e saem do terminal.

A amostragem tem duração de 10 minutos segundo informação fornecida pelo cliente em visita técnica realizada pela Pöyry. Já a pesagem, tanto na entrada quando na saída, tem duração de 3 minutos. A moega tem produtividade de descarga de 300 toneladas por hora.

Uma vez que o açúcar é descarregado, começa um processo de movimentação que tem como destino o armazém. O açúcar passa por correias transportadoras e elevadores de caneca antes de chegar ao armazém. Duas correias transportadoras, denominadas CTI – 01 e CTI – 02, com capacidade de transporte de 300 toneladas por hora, transportam o açúcar da moega até o interior do terminal.

Em seguida, dois elevadores de caneca continuam o transporte do açúcar, ambos com capacidade de 300 toneladas por hora. Outras duas correias, com capacidade de 500 toneladas por hora, fazem a última movimentação para que o açúcar chegue ao armazém.

Quando o açúcar precisa ser movimentado para o carregamento ferroviário, duas correias, com capacidade de 500 toneladas por hora, são as responsáveis por tirar o açúcar do armazém. Finalmente, o açúcar passa por dois elevadores, de capacidade de 300 toneladas por hora e chega na tulha, onde é feito o carregamento dos vagões. A tulha tem capacidade de depositar 300 toneladas de açúcar por hora nos vagões.

A operação ferroviária começa com a chegada da composição, que passa por uma operação de 2 horas de manobras e desmembramento. Em seguida, os vagões vazios são puxados em lotes de 8 vagões até a tulha, para que sejam carregados. Como as composições tem cerca de 80 vagões, são separadas em 10 lotes de 8 vagões. O tempo para puxar o primeiro lote é de 15 minutos e aumenta progressivamente até o último lote, que demora 45 minutos para ser puxado até a tulha.

Após o carregamento, os vagões cheios são puxados pelo mesmo trator em lotes de 3 vagões. Para os 80 vagões, são necessários 27 lotes. O tempo para puxar o primeiro lote é de 15 minutos e aumenta progressivamente até o último lote, que demora 30 minutos para ser puxado até as linhas de saída. Por fim, é feita a formação da composição carregada. O processo de formação da composição e as manobras antes da saída do terminal demoram cerca de duas horas.

Em conversas com a Sugar, foi relatado que um problema existente no terminal é o tamanho do armazém, que atinge frequentemente sua capacidade máxima, fazendo com que os caminhões cheios de açúcar tenham que aguardar no pátio até que o nível do armazém diminua para que possam fazer o descarregamento. O número de caminhões no pátio, nessas situações, chegou a ultrapassar 200 caminhões.

Foi relatado também que o terminal não tem dimensão nem estrutura suficiente para comportar mais de duas composições em seu interior, sendo que o terminal só comporta duas composições quando uma delas está sendo formada já nas linhas de saída e a outra acaba de chegar nas linhas de entrada. Desta forma, filas de composições são intoleráveis.

Situações de stock-out, ou seja, situações em que o armazém fica vazio, fazendo com que os trens tenham que aguardar a chegada de açúcar para que os vagões sejam carregados, também são intoleráveis.

Além disso, uma meta existente no terminal é relativa ao tempo de permanência no terminal de caminhões e trens. A descarga dos caminhões e o carregamento dos trens deve ser feita de maneira rápida e eficiente, de forma que foi imposto que as composições não devem permanecer mais que 32 horas no interior do terminal e os caminhões não devem permanecer mais de uma hora e meia dentro do terminal.

Desta forma, é possível definir cinco indicadores fundamentais para o estudo de simulação: a fila de caminhões, a fila de composições, o nível do estoque do armazém, a probabilidade de uma composição ficar mais de 32 horas no interior do terminal e a probabilidade de um caminhão ficar mais de duas horas dentro do terminal. A meta para as filas é de zero para a fila de composições e inferior a 10 para as filas de caminhões. Em relação ao nível do estoque, deve-se evitar situações de stock-out. Já a probabilidade de que um trem ou caminhão permaneça no terminal por mais tempo que o limite estabelecido deve ser inferior a 5%.

Para melhor identificar possíveis pontos de gargalos, entre todos os recursos do terminal existem filas no modelo; desta forma, além da ocupação dos recursos, é possível usar outro indicador para identificar os recursos gargalos através do tamanho da fila à montante do fluxo.

4.3 COLETA E PROCESSAMENTO DE DADOS

Os dados fornecidos pela Sugar para a elaboração do estudo pela Pöyry são compostos por arquivos digitais como plantas, planilhas e relatórios. Muitas informações também foram obtidas em reuniões e durante a visita técnica ao terminal. As principais informações estão contidas em planilhas; as planilhas recebidas são referentes à:

- Operação de descarga rodoviária – Safras 14-15, 15-16 e 16-17
- Operação de carregamento ferroviário – Safras 15-16 e 16-17
- Lista de equipamentos e suas especificações técnicas
- Tempos operacionais
- Layouts

Em relação à operação de descarga rodoviária, os dados da safra 15-16 são os mais completos, de forma que estes foram os dados considerados para a elaboração do modelo. Além dos dados coletados, o cliente requisitou junto à Pöyry a adoção de algumas premissas para a realização do estudo.

As seguintes informações estão disponíveis na planilha da operação rodoviária:

- Transportadora
- Peso na origem
- Peso no destino
- Nota Fiscal
- Usina
- Placa
- Data e Hora de Chegada
- Data e Hora de Descarga

As variáveis mais relevantes utilizadas na modelagem são: Peso no destino, Data e Hora de Chegada. Os dados confirmam a informação recebida de que a demanda anual do terminal é atualmente de 600.000 toneladas por ano. Esta demanda anual (DA) será alterada ao longo deste estudo para refletir o aumento de capacidade que a Sugar deseja alcançar, para 1.000.000 toneladas e para 1.400.000 toneladas.

Analisando os dados da safra 15-16 da Figura 13 pode-se observar que a maioria das cargas dos caminhões está agrupada em duas categorias, com caminhões maiores com cargas entre 45.000 kg e 50.000 kg e caminhões com cargas menores, variando de 24.000 kg até 38.000

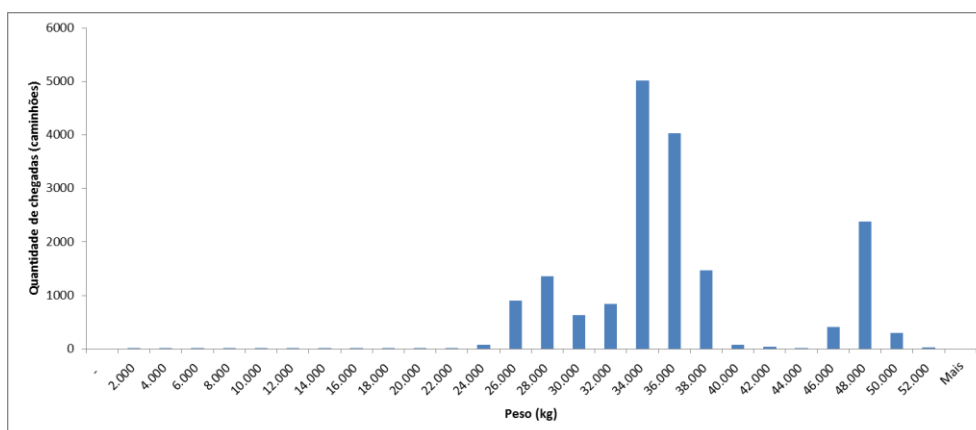


Figura 13 - Carga por veículo

kg. A carga média (CM) é de 35.937 kg.

A distribuição temporal de chegada de caminhões também deve ser estudada para a elaboração do modelo. A Figura 14 apresenta a distribuição de frequência dos meses de chegada dos caminhões ao terminal A na safra 15-16. Analisando a distribuição mensal, percebe-se um pico no mês de junho, responsável por cerca de 12% das chegadas ao longo do ano. Entretanto, a distribuição mensal é relativamente uniforme, com os percentuais de cada mês variando entre 7% no mês de menor movimentação (novembro) e 12% no mês de maior movimentação (junho).

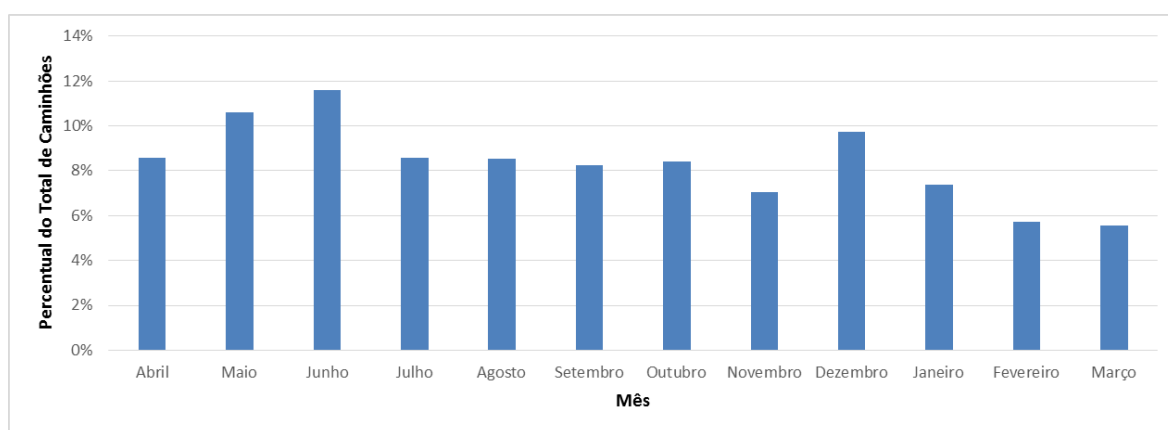


Figura 14 - Distribuição mensal de chegadas

Constatou-se que a distribuição de frequência ao longo dos dias do mesmo mês era relativamente uniforme (Figura 14), assim como a dos dias da mesma semana, com exceção dos domingos, que contam com um horário de operação reduzido. Em relação às horas de chegada, a distribuição encontra-se na Figura 15.

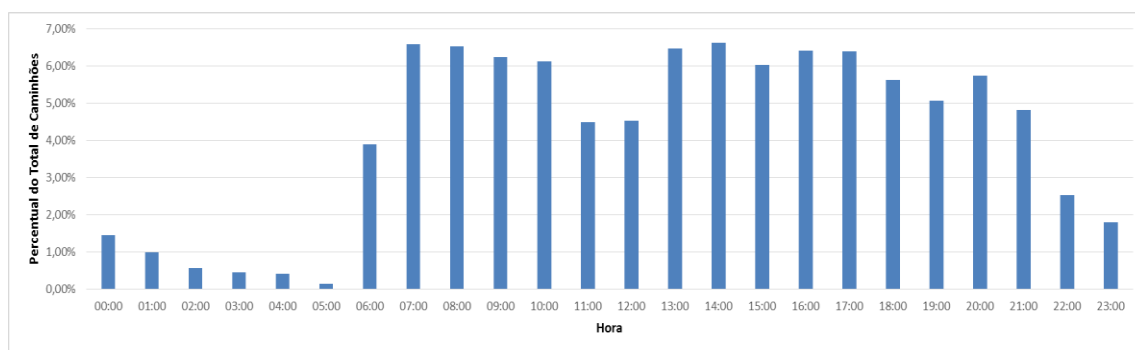


Figura 15 - Distribuição horária de chegadas

Os dados da operação ferroviária foram analisados de maneira similar. Para dimensionar as composições, em primeiro lugar foi estudado o número de vagões por composição, conforme a Figura 16. Com a exceção de alguns outliers que apontam composições com menos de 15 vagões, temos uma distribuição concentrada entre 70 e 90 vagões, com a grande maioria destes na faixa de 80 vagões. Frente a esses dados, o cliente solicita que o modelo de simulação seja construído com a premissa de que todas as composições possuem exatamente 80 vagões.

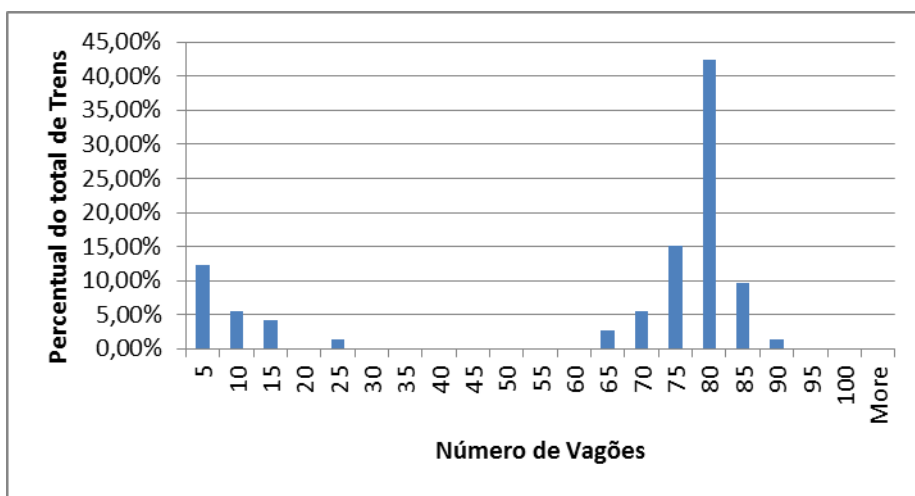


Figura 16 - Distribuição do número de vagões

Além disso, foi analisada também a distribuição de cargas por vagão, conforme a Figura 17. É possível observar que a grande maioria dos vagões chega ao terminal com carga variando entre 84 e 96 toneladas. A quantidade de vagões com menos de 84 toneladas é baixa. Outra premissa informada pelo cliente é a adoção de que todos os vagões teriam uma carga fixa de 90 toneladas.

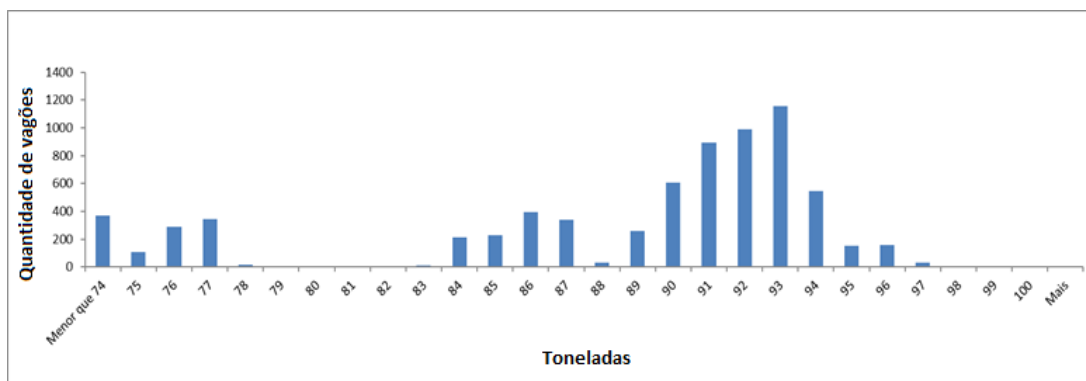


Figura 17 - Carga por vagão

A lista de equipamentos fornecida pela Sugar descreve as características dos equipamentos que realizam o descarregamento rodoviário, o transporte do açúcar no interior do terminal e o carregamento ferroviário e é o que determina os tempos operacionais que serão utilizados no modelo.

Partindo-se dos dados coletados, o primeiro passo tomado foi a modelagem de chegada dos caminhões no terminal A. Para o modelo de simulação, decidiu-se discretizar a carga dos caminhões em dois tipos: caminhões grandes com 45 toneladas e caminhões menores, com 30 toneladas. Para que a carga média do modelo iguale a carga média real, foi calculado que os caminhões menores de 30 toneladas deveriam representar 60,42% dos caminhões que chegam ao terminal, enquanto os 39,58% restantes seriam caminhões de 45 toneladas. Assim, a carga média por caminhão (CM), tanto real quanto simulada, são ambas iguais a 35.937 kg.

Em relação à distribuição temporal das chegadas destes caminhões, primeiro eles foram divididos ao longo dos meses do ano; a distribuição usada no modelo é idêntica àquela encontrada na operação da safra 15-16, conforme a Tabela 4. O percentual mensal será denominada “PM”.

Mês	Abr - 17	Mai - 17	Jun - 17	Jul - 17	Ago - 17	Set - 17	Out - 17	Nov - 17	Dez - 17	Jan - 18	Fev - 18	Mar - 18
% Veículos	8.6%	10.6%	11.6%	8.6%	8.5%	8.2%	8.4%	7.0%	9.7%	7.4%	5.7%	5.6%

Tabela 4 - Distribuição mensal de veículos

Multiplicando PM por DA é possível estimar a quantidade de açúcar que chega ao terminal em certo mês:

$$Carga\ de\ açúcar_{mês} = PM * DA$$

Por outro lado, a distribuição diária da carga foi feita proporcionalmente ao número de horas de operação daquele dia em relação ao mês em questão. O dia 1º de abril, por exemplo, contaria com 15 horas de operação, pois este dia é um sábado, e aos sábados o terminal opera das 07:00 às 22:00. No mês de abril, somando todos os dias, temos um total de 425 horas de operação rodoviária. Então, este dia deve ser responsável por $\frac{15}{425}$ das chegadas de caminhões do mês de abril, de forma que neste dia chegariam 3,53% do total de veículos do mês de abril. A este percentual deu-se o nome de “PD”. Multiplicando PD e PM obtém-se o percentual do total de carga do ano que devem chegar a cada dia.

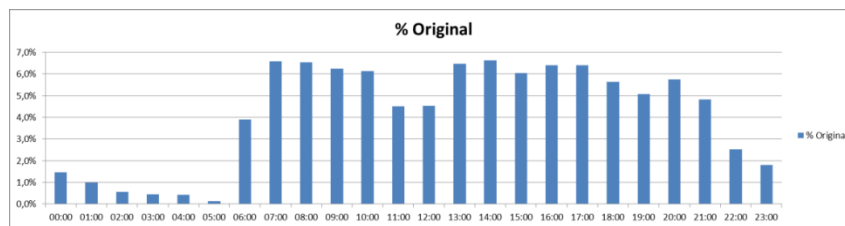


Figura 18 - Distribuição horária original

Para a distribuição dos caminhões ao longo das horas do dia (Figura 18), constatou-se que a Sugar operou em alguns dias durante a madrugada. Entretanto, a empresa quer que sua operação no futuro respeite o horário de operação estabelecido, que é das 07:00 às 22:00 de segunda à sábado e das 07:00 às 17:00 aos domingos e feriados para o recebimento de caminhões. Desta forma, foi acordado entre a Pöyry e a Sugar a premissa de que a chegada de caminhões deve ficar restrita aos horários supracitados. Desta forma, foi necessário distribuir os caminhões que chegaram fora do horário ao longo do dia nas horas de operação normais (Figura 19), obtendo assim os percentuais por hora, ou PD (Tabela 5):

Multiplicando PD, PM e PH obtemos a percentual do total de carga do ano que devem chegar em determinada hora.

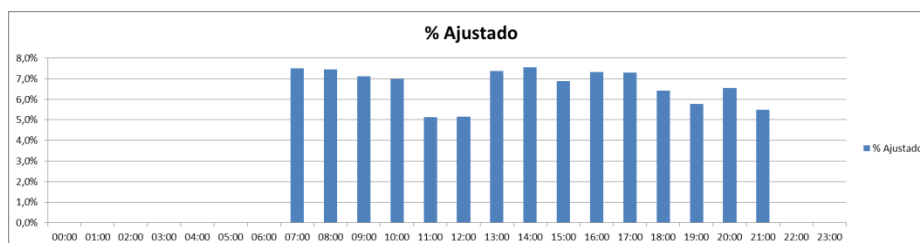


Figura 19 - Distribuição horária ajustada

Hora	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00
% Original	1,5%	1,0%	0,6%	0,4%	0,4%	0,1%	3,9%	6,6%	6,5%	6,3%	6,1%	4,5%
% Ajustado	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	7,5%	7,4%	7,1%	7,0%	5,1%

Hora	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
% Original	4,5%	6,5%	6,6%	6,0%	6,4%	6,4%	5,6%	5,1%	5,8%	4,8%	2,5%	1,8%
% Ajustado	5,2%	7,4%	7,6%	6,9%	7,3%	7,3%	6,4%	5,8%	6,6%	5,5%	0,0%	0,0%

Tabela 5 - Percentual original e ajustado da chegada de caminhões por hora

Com as informações citadas acima, para calcular o número de veículos para cada hora de cada dia de cada mês, basta multiplicar os percentuais de hora, dia e mês pela demanda anual e dividir pela carga média dos caminhões:

$$QC(hora) = PM * PD * PH * \frac{DA}{CM}$$

Abaixo, exemplo do cálculo do número de caminhões que chegarão entre as 10:00 e 11:00 da manhã do dia 6 de junho.

$$QC(hora) = 11,61\% * 3,49\% * 6,99\% * \frac{600.000}{35.937} = 4,73 = 5 \text{ caminhões}$$

Os caminhões que chegam em uma determinada hora foram distribuídos uniformemente ao longo desta hora.

Em relação à operação ferroviária, o primeiro passo foi a modelagem das composições e vagões. Foi adotada a premissa do cliente de 80 vagões por composição e 90 toneladas por vagão. Com estas premissas, todas as composições carregavam 7.200 toneladas pois eram formadas por 80 vagões de 90 toneladas cada. Nesta configuração, para movimentar as 600.000 toneladas de açúcar que chegam pelo modal rodoviário, seriam necessárias cerca de 83 composições ao ano, em média, 7 por mês.

A distribuição mensal das chegadas ferroviárias era muito próxima da distribuição mensal rodoviária. Desta forma, foram adotados para os trens os mesmos percentuais mensais de chegada, com junho novamente sendo o mês de maior movimentação representando os mesmos 12% das chegadas da operação rodoviária. Sabendo a quantidade de trens por mês, os mesmos foram distribuídos uniformemente ao longo de cada mês. A operação ferroviária opera 24 horas por dia todos os dias do ano, de forma que não foi necessária a distribuição em base ao horário de operação.

A simulação tem como início o dia primeiro de abril, que representa o primeiro dia da nova safra. Entretanto, a data de início da safra é um conceito que não influencia na operação diária do terminal. Desta forma, nesta data, um trem poderia estar sendo carregado, o armazém estaria em um certo nível de estoque, etc.

É necessário, portanto, que quando a simulação comece, a situação inicial represente de maneira geral um dia típico da operação. Para isto, é necessário estabelecer um nível de estoque inicial do armazém. Foi adotada a premissa de que o nível de estoque no início da simulação era de 50% da capacidade do terminal, ou seja, de 4 mil toneladas.

Em função do arredondamento do número de caminhões e de trens (que, naturalmente, devem ser representados por números inteiros), ocorre muitas vezes um desbalanço do fluxo de açúcar. Considerando uma demanda anual de 600.000 toneladas, e somando o número de caminhões de cada hora do ano, resultam 16.704 caminhões ao longo do ano. Já o número total de composições no ano é de 84 trens. Multiplicando respectivamente pela carga média dos caminhões (34.937 kg) e pela carga dos trens (7.200 Kg), obtemos que dos caminhões chegam 600.286 toneladas de açúcar e dos trens saem 604.800 toneladas. Isto gera uma diferença de 4.514 toneladas entre o total que sai e que entra.

Isto gera problemas no modelo, pois ao final da simulação, não haveria açúcar suficiente para carregar os vagões. É necessário minimizar esta diferença, e para isto, é necessário multiplicar todos os cálculos de caminhões por hora por um fator. Este fator é obtido facilmente por tentativa e erro, e já foi calculado para os três cenários de demanda anual contemplados na Tabela 7.

Demanda Anual	Fator de correção
600.000	1,0028
1.000.000	1,0069
1.400.000	1,0105

Tabela 6 - Fatores de correção

Uma vez que as chegadas de trens e caminhões foram modeladas, é necessário modelar os recursos por onde estas entidades (trens e caminhões) serão processadas. Para isto, o uso do fluxograma do terminal, desta vez incluindo os tempos de processamento e taxas de produtividade, pode ser visualizado na Figura 20.

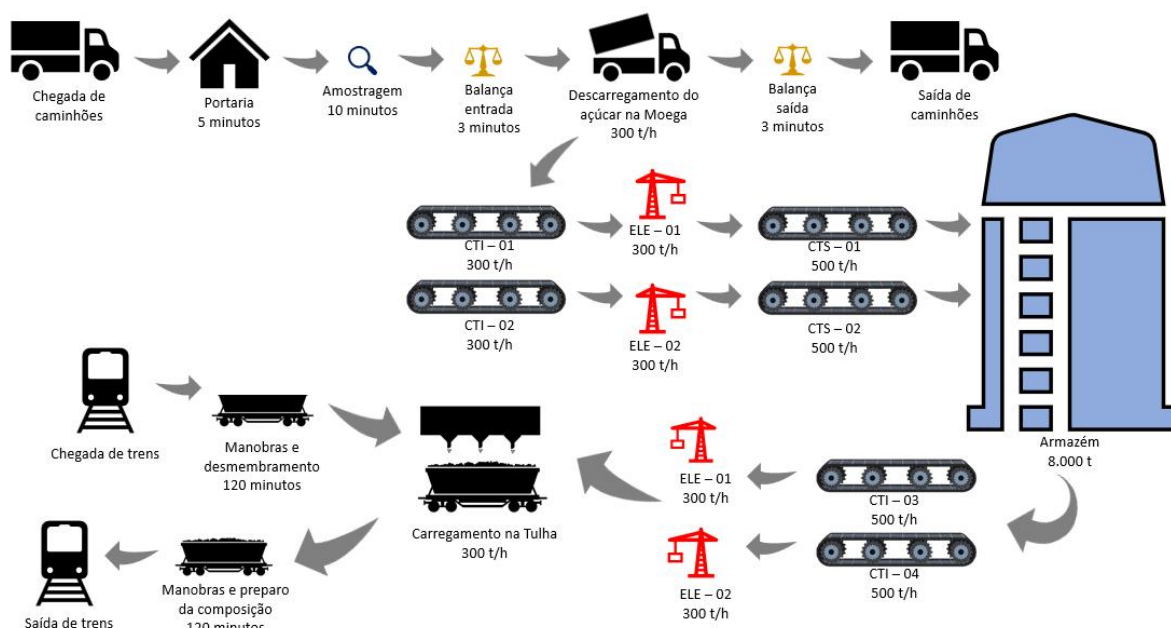


Figura 20 - Fluxograma do terminal com tempos operacionais

Os caminhões, ao entrarem no terminal, passam primeiro pela amostragem, que foi modelada utilizando o tempo de 10 minutos; em seguida, passam pela balança de entrada, modelada usando o tempo médio de 3 minutos. Para o descarregamento na moega, que tem produtividade de 300 toneladas por hora, foi feita modelagem em que o tempo de processamento depende do tipo de caminhão: caminhões grandes, de 45 toneladas, são processados em 9 minutos; caminhões pequenos, de 30 toneladas, são processados em 6 minutos. Em uma hora, portanto, são processadas 300 toneladas de açúcar, que é justamente a produtividade da moega. Foram adicionados ainda 3 minutos de manobras para todos os caminhões na moega, de forma que o tempo total de descarregamento na moega para caminhões grandes é de 12 minutos e para caminhões pequenos de 9 minutos.

Após o descarregamento, os caminhões seguem para a balança de saída, em operação com tempo de processamento igual à balança de entrada (3 minutos). O açúcar entra no terminal e é transportado pelas correias CTI – 01 e CTI – 02 a uma taxa de 300 toneladas por hora. Em seguida, o transporte é feito por dois elevadores, ELE – 01 e ELE – 02, também com taxa de 300 toneladas por hora. As correias CTS – 01 e CTS – 02, que levam o açúcar do elevador ao armazém, tem produtividade de 500 toneladas por hora. O armazém foi modelado respeitando sua capacidade máxima de 8.000 toneladas.

Para o carregamento ferroviário, o açúcar sai do armazém e passa pelas correias CTI – 03 e CTI – 04, ambas com taxa de movimentação de 500 toneladas por hora. Em seguida, dois elevadores, ELE – 03 e ELE – 04, levam o açúcar à tulha a uma taxa de 300 toneladas por hora. A tulha, por sua vez, consegue carregar os vagões a uma taxa de 300 toneladas por hora.

Os trens, após chegarem ao terminal, passam por um processo de manobras e desmembramento que tem duração de 120 minutos. Em seguida, um trator puxa os vagões vazios até a tulha em lotes de oito vagões. Como a composição é composta por 80 vagões, o trator precisa levar 10 lotes. O tempo deste processo varia em função de qual lote está sendo puxado. O primeiro lote, mais próximo da tulha, demora 15 minutos para ser puxado até esta. Já o último lote, mais longe da tulha, demora 45 minutos. Então, adotou-se que o tempo de puxada dos lotes varia uniformemente entre o primeiro lote e o décimo e último lote, de 15 minutos até 45 minutos.

Após o carregamento, o trator puxa os vagões cheios de açúcar em lotes de três. Para 80 vagões e 3 vagões por lote, são necessários 27 lotes. O tempo para que o trator posicione estes lotes nas linhas de saída também varia em função de qual lote está sendo puxado. O primeiro lote demora apenas 15 minutos enquanto o último demora 30 minutos. Adotou-se lógica similar à anterior: o tempo de puxada dos lotes cresce uniformemente do primeiro ao último lote, variando entre 15 e 30 minutos. Após o posicionamento dos lotes nas linhas de saída, acontece o preparo da composição e manobras, que levam 120 minutos até que a composição saia do terminal.

4.4 MODELO COMPUTACIONAL

No Flexsim[®], existem dois tipos de entidade. Existem entidades que possuem a capacidade de armazenar dentro de si outras entidades, como pallets e caminhões, e entidades que não possuem essa capacidade. Isto significa que em entidades como pallets e caminhões, é possível adicionar outras entidades que ficam “dentro” dos pallets ou caminhões: do mesmo jeito que na prática é possível colocar um produto em cima de um pallet e colocar este pallet dentro de um caminhão, o mesmo é possível no Flexsim[®].

O açúcar poderia ser modelado como uma variável que ia sendo transferida entre recursos até chegar ao armazém. Entretanto, para visualizar de maneira mais clara a movimentação do

açúcar dentro do terminal, decidiu-se modelar o açúcar como uma entidade e não como uma variável. Então, no modelo, os caminhões que chegam ao terminal têm em seu interior pequenas caixas brancas que representam o açúcar.

É importante ressaltar que o açúcar que chega ao terminal chega à granel. Em nenhum momento o açúcar é ensacado ou colocado em caixas. As caixas são só um conceito digital criado para a modelagem computacional. Para discretizar o açúcar no modelo, adotou-se o máximo divisor comum entre a carga dos caminhões (30 ou 45 toneladas) e a carga dos vagões (90 toneladas). Desta forma, cada caixa representa 15 toneladas de açúcar.

Os caminhões grandes, de 45 toneladas, possuem em seu interior, portanto, três caixas de açúcar, enquanto os caminhões menores, de 30 toneladas, possuem em seu interior apenas duas caixas de açúcar. Um vagão carregado, de 90 toneladas, possui em seu interior seis caixas de açúcar. Esta definição de que cada caixa de açúcar no modelo representa 15 toneladas é muito importante e foi utilizada em toda a modelagem.

Quando o caminhão passa pela moega, um recurso chamado “Separator” separa a entidade “caixa de açúcar” da entidade “caminhão”, simulando o descarregamento. De cada caminhão saem então duas ou três caixas de açúcar, dependendo do tipo de caminhão. O caminhão vazio é então encaminhado para a balança de saída, onde é pesado em processo que demora 3 minutos. Em seguida, sai do terminal. Já o açúcar passa para as correias transportadoras CTI – 01 e CTI – 02. Como as correias têm capacidade de movimentação de 300 toneladas por hora, e utilizando novamente a definição de que cada caixa de açúcar representa 15 toneladas, as correias foram modeladas de forma que cada caixa é processada nas correias com tempo de processamento igual a 3 minutos. Desta forma, em uma hora, terão passado pela correia exatamente 20 caixas, que representam justamente 300 toneladas, respeitando a produtividade das correias de 300 toneladas por hora.

A mesma lógica foi empregada para as demais correias e também para os elevadores. Os elevadores ELE-01 e ELE-02 também têm produtividade de 300 toneladas por hora, de forma que a modelagem foi feita de maneira idêntica às correias CTI – 01 e CTI – 02, com tempo de processamento para cada caixa de 3 minutos. Já as correias CTS – 01 e CTS – 02, que ficam à jusante dos elevadores, tem capacidade de movimentar 500 toneladas por hora, de forma que o tempo de processamento de uma caixa virtual de açúcar é de 1,8 minutos.

O armazém tem capacidade de estocar 8.000 toneladas de açúcar. Como 15 toneladas são representadas por uma caixa de açúcar, o armazém foi modelado com uma capacidade de 533 caixas de açúcar.

As correias CTI – 03 e CTI – 04 são as responsáveis por retirar do armazém o açúcar que será encaminhado para a tulha. Estas correias também contam com uma capacidade de movimentação de 500 toneladas por hora, de forma que o tempo de processamento de uma caixa de açúcar é novamente de 1,8 minutos. À jusante destas correias encontram-se dois elevadores (ELE – 03 e ELE – 04) com produtividade de 300 toneladas por hora, que foram modelados como recursos com tempo de processamento de 3 minutos. O açúcar, após passar pelos elevadores, chega finalmente à tulha.

Da mesma maneira que os caminhões foram modelados juntando a entidade “caminhão” com a entidade “caixa de açúcar”, o mesmo foi feito para os trens e vagões. O trem é composto por 80 vagões e ele foi modelado como uma entidade que tem em seu “interior” 80 entidades do tipo “vagão”. Então, quando é feito o desmembramento da composição, é feito no modelo um processo muito semelhante àquele dos caminhões na moega: um recurso separa as entidades “vagão” da entidade “trem”, assim como o recurso moega separava a entidade “caminhão” das entidades “caixa de açúcar”. Nesse caso, quando o trem foi desmembrado, a entidade “trem” vazia representa a locomotiva, e cada uma das 80 entidades “vagão” representa um vagão.

Na operação do terminal, um trator consegue puxar de cada vez oito vagões vazios até a tulha. Cada composição, de 80 vagões, é composta por 10 lotes de 8 vagões; ou seja, o trator precisa puxar 10 lotes até a tulha. Como citado anteriormente, puxar o primeiro lote, que está mais perto da tulha, demora 15 minutos. Já puxar o último lote, que está mais longe da tulha, demora 45 minutos. Desta forma, a modelagem foi feita de maneira que o tempo para puxar cada lote aumenta linearmente: o primeiro lote leva 15 minutos para ser puxado até a tulha, o segundo 18,33 minutos, o terceiro 21,66 e assim por diante até o décimo e último lote que leva 45 minutos para ser puxado até a tulha.

Uma vez que os vagões vão chegando à fila da tulha, eles aguardam para serem carregados. No modelo, dentro de cada vagão, são depositadas seis caixas de açúcar (totalizando 90 toneladas por vagão). Como a tulha tem capacidade de carregamento de 300 toneladas por hora, o processo para colocar as seis caixas (90 toneladas) dentro do vagão demora 18

minutos. No modelo, é possível visualizar fisicamente as seis caixas de açúcar em cima dos vagões.

Em seguida, é preciso modelar o preparo da composição. Seguindo a mesma lógica de movimentação de lotes de vagões, o trator consegue carregar os vagões cheios em lotes de três para as linhas de saída para preparo da composição. Sabendo que o trator consegue puxar apenas três vagões por vez, para que os 80 vagões sejam puxados, o trator precisa fazer 27 viagens (27 lotes). O tempo para puxar o primeiro lote é de 15 minutos e aumenta linearmente até o último lote, que demora 30 minutos. A modelagem deste processo segue a lógica oposta da moega: na moega, as entidades “açúcar” eram separadas (retiradas) da entidade “caminhão”. Aqui, as entidades “vagão” são depositadas dentro da entidade “trem”. Ao final do processo, temos um trem que possui em seu “interior” 80 vagões. Por sua vez, cada vagão possui em seu interior 6 caixas de açúcar.

Para modelar a condição, citada na seção 4.2, de que o terminal só consegue comportar duas composições em seu interior em um determinado instante, sendo uma nas linhas de entrada e outra nas linhas de saída, foram usadas funções do Flexsim® chamadas “*Send Message*” e “*Close and Open Ports based on case*”. A primeira função permite que um recurso, como por exemplo o processador que simula a formação da composição nas linhas de saída, envie uma mensagem para outro recurso, como por exemplo a fila de chegada de trens, contendo um certo parâmetro. Já a segunda função, atribuída à fila de chegada de trens, impede ou permite a passagem de trens à segunda dos parâmetros recebidos por mensagem. Então quando um trem chega nas linhas da entrada e começa o desmembramento da composição, é enviada uma mensagem para a fila de entrada de composições para que segure todos os trens em seu interior, impedindo que existam, em um determinado momento, dois trens nas linhas de entrada. Assim que o trem, após ser carregado, chega nas linhas de saída para preparo da composição, é enviada uma nova mensagem liberando a passagem de outra composição na fila para dentro do terminal.

Finalmente, o trem, com 80 vagões e 480 caixas (7.200 toneladas) de açúcar em seu interior, passa pelas manobras de saída, processo que demora duas horas, e então sai do terminal.

As informações disponíveis só informavam o tempo médio de processamento na maioria dos recursos. Para adicionar certa variabilidade ao modelo, para os recursos que não possuem

dados reais do tempo de processamento, foi adotada uma distribuição estatística triangular que varia 10% em relação à média. Os parâmetros da distribuição são, portanto:

$$\text{mínimo} = (1 - 10\%) * \text{média}$$

$$\text{máximo} = (1 + 10\%) * \text{média}$$

$$\text{moda} = \text{média}$$

A portaria, por exemplo, que tem tempo médio de processamento de 5 minutos, foi modelada adotando um tempo de processamento seguindo a distribuição triangular com os seguintes parâmetros: mínimo de 4,5 minutos, máximo de 5,5 minutos e moda de 5 minutos. No Flexsim®, as distribuições são representadas pelo nome da distribuição seguida pelo valor dos parâmetros entre parênteses. No caso da distribuição triangular, essa representação segue o seguinte formato: triangular(mínimo, máximo, moda). A representação do tempo de processamento da portaria é, portanto, triangular(4.5, 5.5, 5.0). O mesmo vale para a balança, que tem tempo de processamento médio de 3 minutos e foi modelada com a distribuição triangular(2.7, 3.3, 3.0). Na Tabela 7 estão descritos todos os tempos operacionais usados no modelo.

Operação	Recurso	Tempo	Operação	Recurso	Tempo
Rodoviária	Portaria	triangular(4.5, 5.5, 5)	Ferrovária	Deslocamento 9º Lote de Vagões	triangular(37.5, 45.8, 41.7)
Rodoviária	Amostragem	triangular(9, 11, 10)	Ferrovária	Deslocamento 10º Lote de Vagões	triangular(40.5, 49.5, 45)
Rodoviária	Balança Entrada	triangular(2.7, 3.3, 3)	Ferrovária	Tulha	triangular(16.2, 19.8, 18)
Rodoviária	Moega - Caminhão pequeno	triangular(8.1, 9.9, 9)	Ferrovária	Formação da Composição	triangular(546.8, 668.3, 607.5)
Rodoviária	Moega - Caminhão grande	triangular(10.8, 13.2, 12)	Ferrovária	Manobras Saída	triangular(108, 132, 120)
Rodoviária	Balança Saída	triangular(2.7, 3.3, 3)	Interna/Armazém	CTI-01	triangular(2.7, 3.3, 3)
Ferrovária	Manobras Entrada	triangular(108, 132, 120)	Interna/Armazém	CTI-02	triangular(2.7, 3.3, 3)
Ferrovária	Deslocamento 1º Lote de Vagões	triangular(13.5, 16.5, 15)	Interna/Armazém	CTI-03	triangular(1.6, 2, 1.8)
Ferrovária	Deslocamento 2º Lote de Vagões	triangular(16.5, 20.2, 18.3)	Interna/Armazém	CTI-04	triangular(1.6, 2, 1.8)
Ferrovária	Deslocamento 3º Lote de Vagões	triangular(19.5, 23.8, 21.7)	Interna/Armazém	ELE-01	triangular(2.7, 3.3, 3)
Ferrovária	Deslocamento 4º Lote de Vagões	triangular(22.5, 27.5, 25)	Interna/Armazém	ELE-02	triangular(2.7, 3.3, 3)
Ferrovária	Deslocamento 5º Lote de Vagões	triangular(25.5, 31.2, 28.3)	Interna/Armazém	ELE-03	triangular(2.7, 3.3, 3)
Ferrovária	Deslocamento 6º Lote de Vagões	triangular(28.5, 34.8, 31.7)	Interna/Armazém	ELE-04	triangular(2.7, 3.3, 3)
Ferrovária	Deslocamento 7º Lote de Vagões	triangular(31.5, 38.5, 35)	Interna/Armazém	CTS-03	triangular(1.6, 2, 1.8)
Ferrovária	Deslocamento 8º Lote de Vagões	triangular(34.5, 42.2, 38.3)	Interna/Armazém	CTS-04	triangular(1.6, 2, 1.8)

Tabela 7 - Tempos operacionais

4.5 VALIDAÇÃO E VERIFICAÇÃO

A validação do modelo conceitual foi feita junto ao cliente, que reafirmou as premissas do modelo e concordou com as premissas adotadas pelo autor. Assim, comprova-se que o modelo conceitual proposto é uma representação válida do terminal intermodal existente. A verificação foi feita através de alguns dos conceitos vistos na revisão bibliográfica, como a

implementação e verificação modular e a observação da animação gráfica do modelo 3D. A primeira se refere ao modo como o modelo foi construído, por partes, com cada parte sendo verificada: foi modelada, por exemplo, apenas a chegada de caminhões. Esta chegada foi então simulada e testada para comprovar que os caminhões só chegavam entre as 07:00 da manhã e as 22:00 da noite, respeitando também a sazonalidade de horas, de dias da semana e mensal. Em seguida, foi feito o mesmo com a chegada de trens, depois com a amostragem, pesagem, descarregamento e assim por diante até que todos os eventos que compõe o modelo conceitual estavam implementados e verificados no modelo computacional. Para isso, foi muito útil também a observação gráfica do modelo 3D, que permitia ver a flutuação do estoque presente no armazém e a chegada e saída de caminhões e trens do terminal.

Finalmente, todas as partes que foram modeladas com sucesso foram sendo integradas no modelo, fazendo com que todas as entidades seguissem o fluxo definido no modelo conceitual. A seguir é apresentado o modelo computacional em mais detalhe. Foi inserido no Flexsim® um desenho do layout do terminal para servir de plano de fundo para posicionar corretamente os recursos do terminal, conforme podemos ver na Figura 21.

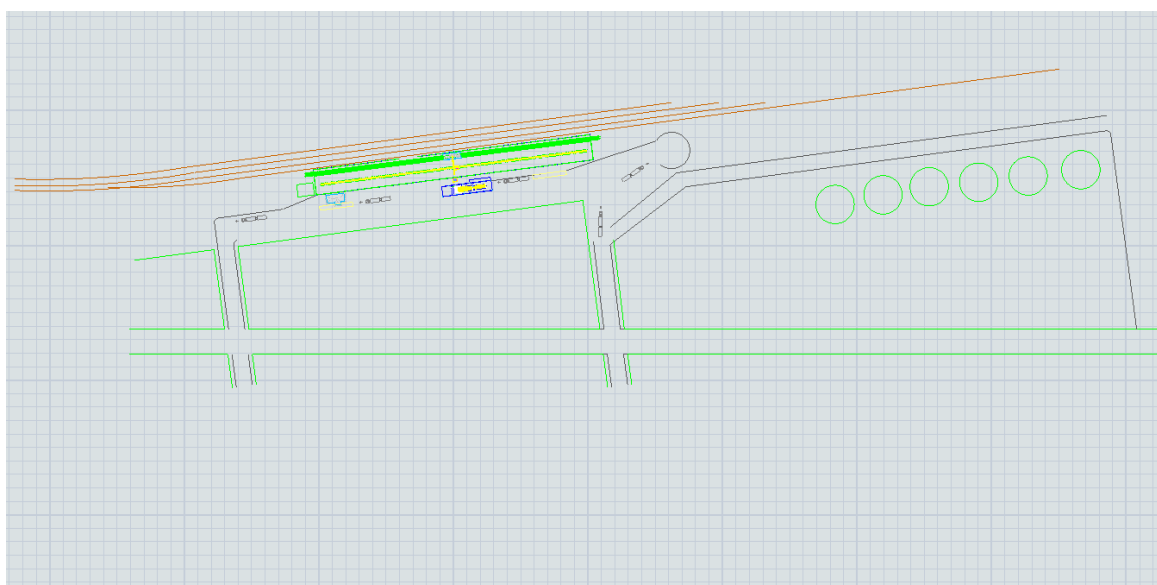


Figura 21 - Layout do terminal

A Figura 22 mostra um caminhão passando pela portaria do terminal, e um outro indo da fila da amostragem para a amostragem. No Flexsim[®], é possível inserir objetos 3D modelados em softwares apropriados para representar entidades ou recursos. Recursos chamados de “processors” tem como padrão uma máquina verde com uma esteira preta em sua parte superior, como podemos ver na figura XX, que mostra um caminhão indo justamente para um “processor” que é a amostragem.

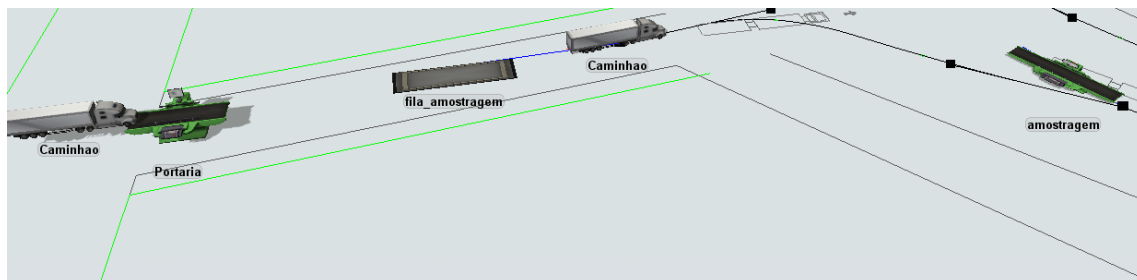


Figura 22 - Visão da chegada dos caminhões

A Figura 23 mostra agora um caminhão indo da amostragem para a balança de entrada, enquanto outro está chegando na amostragem.

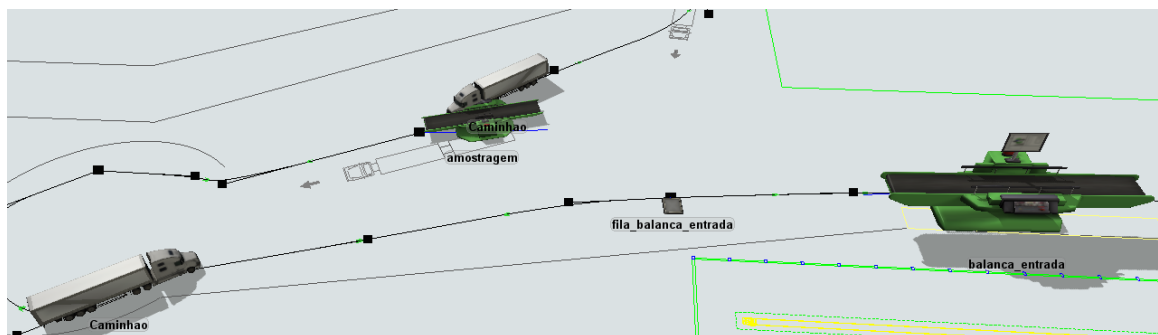


Figura 23 - Visão da amostragem e da balança

Em seguida, toda a estrutura de descarregamento apresentada na Figura 24. É possível ver a balança de entrada na esquerda da imagem, e em seguida um caminhão sendo descarregado na moega. Após o carregamento, o caminhão segue para a balança de saída enquanto o açúcar passa por uma série de correias e elevadores antes de chegar no armazém, localizado na parte inferior central da figura.

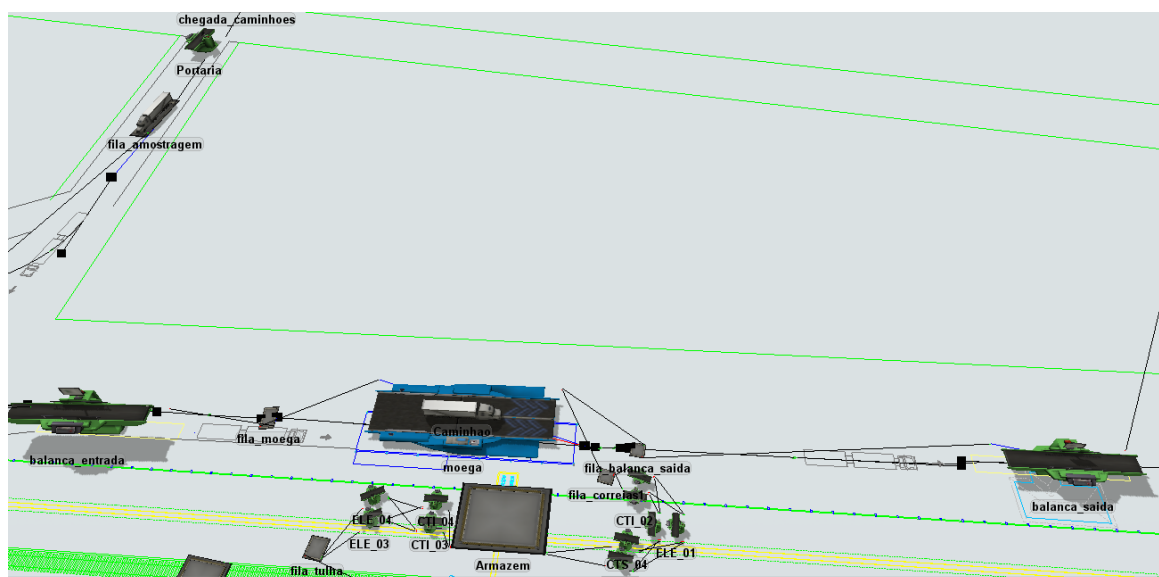


Figura 24 - Visão do sistema de descarregamento e armazém

A Figura 25 apresenta uma visão mais ampla do terminal, exibindo tanto a parte de descarregamento de caminhões quanto a parte de chegada dos trens, com as manobras, filas, o trator que desloca os vagões e a tulha onde os vagões são carregados.

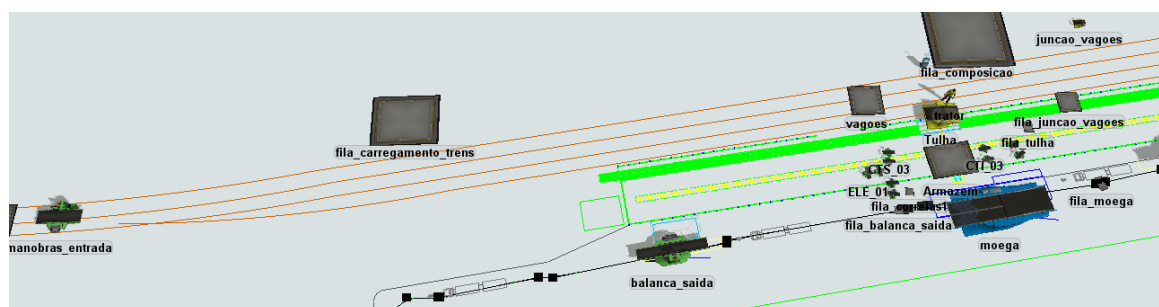


Figura 25 - Visão da operação ferroviária

No software, por falta de uma figura 3D que representasse um trem ou vagão, os trens foram modelados usando a mesma figura 3D do caminhão, e os vagões foram modelados como sendo pallets. Desta forma, o trem com 80 vagões, cada um com 90 toneladas de capacidade, é representado por um caminhão, que carrega dentro de si 80 pallets, cada um com capacidade de carregar seis caixas de açúcar (lembrando que cada caixa de açúcar representa 15 toneladas, de forma que seis caixas equivalem a 90 toneladas).

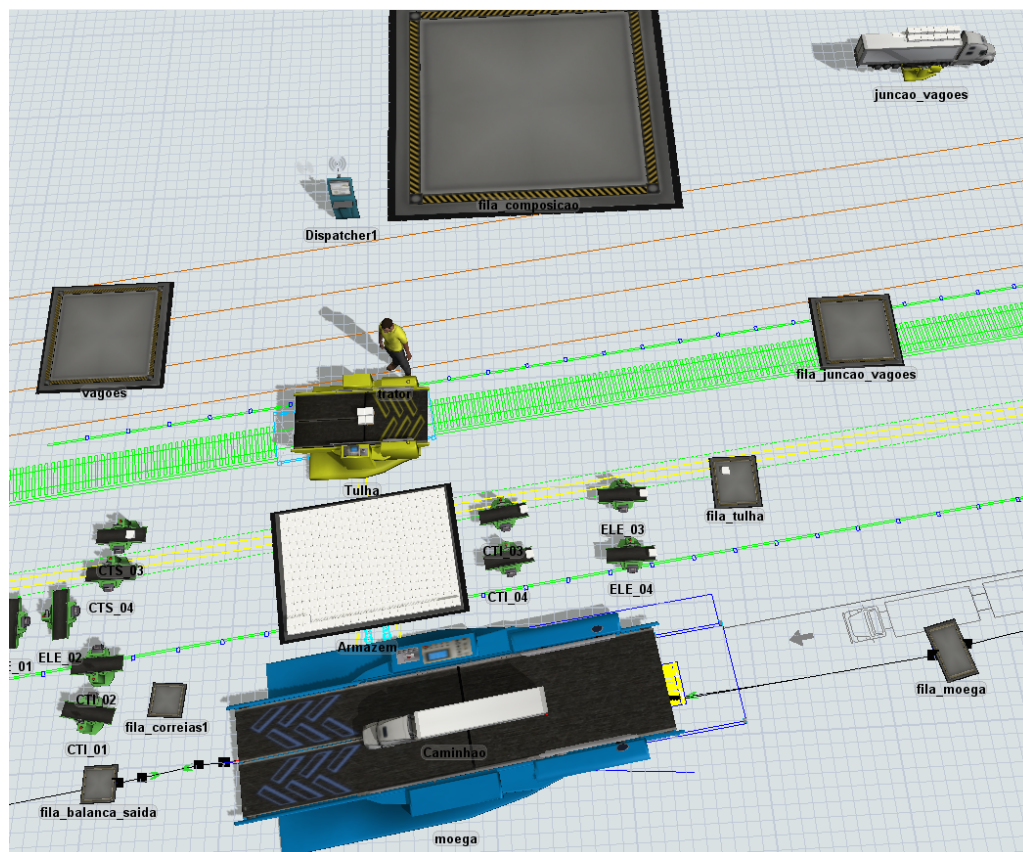


Figura 26 - Visão em detalhe do carregamento e descarregamento

Na Figura 26, é possível ver em detalhe alguns pontos interessantes. Na parte inferior podemos ver um caminhão sendo descarregado na moega. À esquerda podemos ver uma caixa de açúcar passando por uma correia antes de chegar ao Armazém, que está cheio de caixas brancas que representam o açúcar. O trator, representado por um operário vestido de amarelo, está na tulha enquanto um vagão (pallet) é carregado. No canto superior direito podemos ver o preparo da composição, com os vagões sendo reunidos para formar a composição (com a representação 3D de um caminhão sendo carregado com pallets com caixas de açúcar). A Figura 27 apresenta uma visão superior do terminal como um todo.

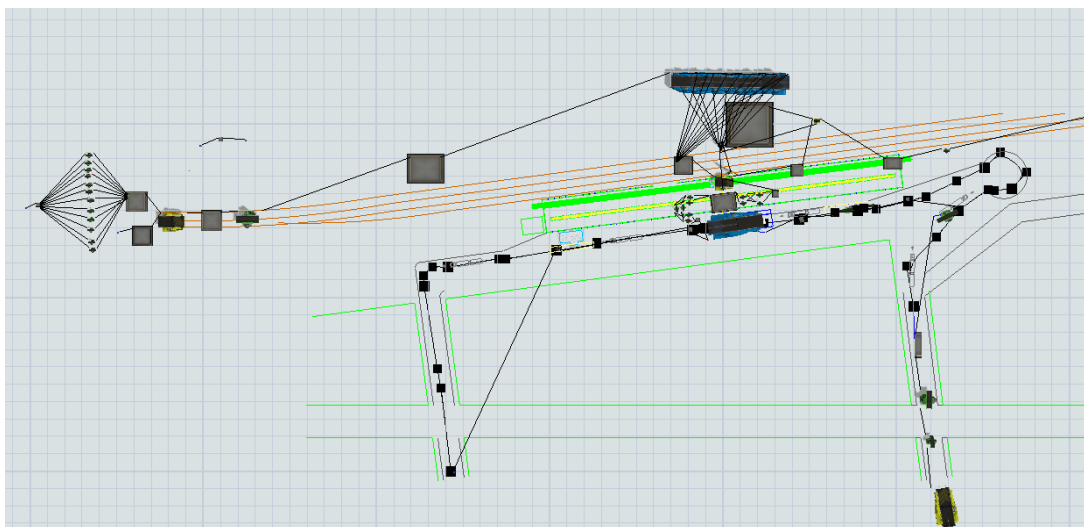


Figura 27 - Visão aérea do modelo do terminal

Após a construção do modelo e a verificação da lógica, foram simuladas algumas replicações para uma primeira verificação dos dados de saída do modelo. Para isso, foi criado um Dashboard dentro do próprio Flexsim® que apresenta gráficos escolhidos e configurados pelo autor, conforme a Figura 28.

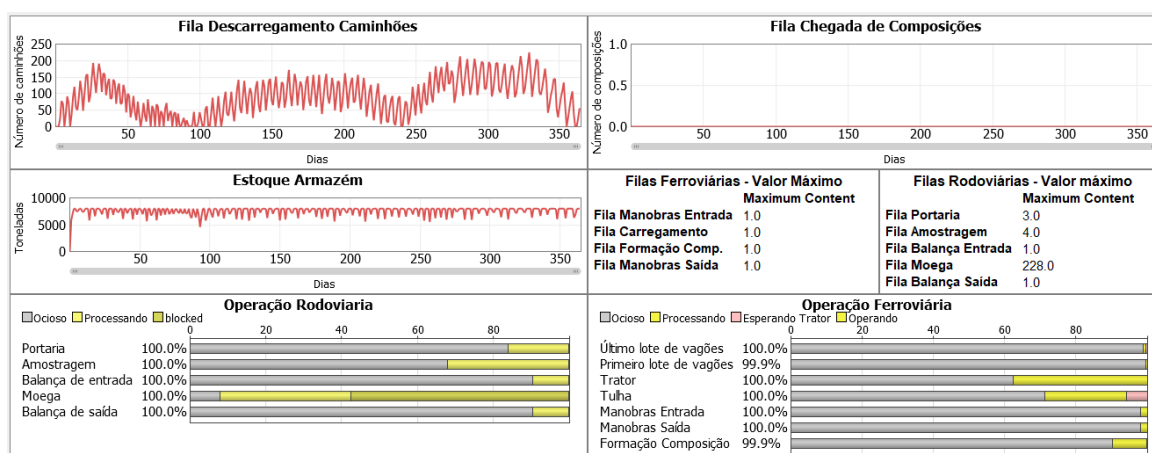


Figura 28 - Dashboard do modelo

O Dashboard apresenta no canto superior esquerdo um gráfico que representa a fila de caminhões antes de entrar na moega. No canto superior direito, a fila de composições. O terceiro gráfico, na parte central esquerda, representa o nível de estoque do armazém. À direita do gráfico de estoque estão representados os valores máximos que diversas filas do modelo atingiram ao longo da operação, para identificação de possíveis gargalos. O valor de um é o valor mínimo de cada fila, pois mesmo quando um recurso apenas passa pela fila e

segue seu fluxo, o modelo computa essa passagem com valor de um. Na parte inferior estão representadas as barras de status dos diversos recursos da operação rodoviária e ferroviária.

Podemos observar que a fila para descarregamento de caminhões atingiu valores elevados; entretanto, a taxa de utilização da moega é de apenas 34,4%, ficando ociosa 8% do tempo e, nos 57,6% restantes, a moega ficou “bloqueada”. Este status indica que a moega não conseguiu descarregar um caminhão, pois os recursos à jusante estavam ocupados. Isto acontece justamente porque o armazém, como é possível ver no gráfico “Estoque Armazém”, atingiu frequentemente sua capacidade máxima. O terminal não apresentou nenhuma fila de composições.

Observando a utilização dos principais equipamentos e pontos de atendimento da operação de carregamento ferroviária, podemos ver que a taxa de ociosidade de todos os recursos, com exceção da moega, é muito alta, de mais de 60%. O trator é o que gasta mais tempo em operação, pois ele é utilizado no desmembramento da composição, no transporte dos vagões vazios até a tulha, no carregamento na tulha, no transporte dos vagões cheios até as linhas de saída e no preparo da composição. A tulha ficou ociosa por cerca de 70% do tempo e ficou 23% do tempo efetivamente carregando os vagões. O restante do tempo foi devido à espera da disponibilidade do trator. Estes tempos de espera reduzem a eficiência da operação ferroviária e impactam diretamente nos processos à jusante, como na formação da composição, onde a locomotiva aguarda a chegada dos vagões cheios na linha de saída para a formação da composição e saída do terminal.

É possível ver que os picos na fila de caminhões ocorrem quando o armazém atinge sua capacidade máxima de estocagem. Neste momento, como o armazém está completamente cheio, os caminhões têm que esperar que o armazém esvazie um pouco antes de descarregar suas cargas. É isto que causa a fila. Isto é devido ao tamanho do armazém, que não tem capacidade suficiente para sustentar a atual movimentação do terminal.

De forma geral, os resultados observados do modelo se aproximaram dos resultados esperados. Foram recepcionados no modelo do terminal 16.818 caminhões e 602.595 toneladas de açúcar. Na safra 2015-2016, o terminal recebeu na realidade 17.634 caminhões e 621.312 toneladas de açúcar. A diferença entre os resultados modelados e os efetivos praticados é de menos de 5%. Esta precisão demonstra um alto nível na calibração do modelo, atestando-o para as simulações futuras das expansões.

4.6 EXPERIMENTOS

Conforme observado na seção anterior, o armazém muitas vezes atingiu sua capacidade máxima, provocando uma fila excessiva de caminhões. Desta forma, o tamanho do armazém é um dos fatores que deve ser estudado. Este é o primeiro parâmetro a ser alterado no modelo construído e dá início aos experimentos que serão conduzidos no terminal.

Os experimentos seguem uma nomenclatura específica criada pelo autor para facilmente identificar qual cenário está sendo simulado. Esta nomenclatura indica a demanda anual que está sendo simulada, a capacidade do armazém, o estoque inicial e os recursos adicionados. Os recursos serão representados por duas letras indicativas de seu nome, separadas por barras (por exemplo, Am/Mo indica que foram adicionados um ponto adicional de amostragem (“Am”) e uma moega (Mo)). Os valores são representados em milhares de toneladas. A primeira simulação conduzida é a que foi apresentada na seção anterior, que simula a operação atual do terminal, que pode ser descrita como 600/8/4/0 para indicar que a situação simulada é de uma demanda anual de 600,000 toneladas de açúcar, com o armazém tendo capacidade de estocar 8,000 toneladas de açúcar, considerando um estoque inicial de 4,000 toneladas e considerando que nenhum recurso foi adicionado ao modelo original.

O primeiro experimento contempla a questão da capacidade do armazém. Para avaliar qual seria a capacidade ideal do armazém, foi imposto ao modelo que o armazém tem capacidade infinita, de forma que, avaliando o nível máximo de estoque que o armazém apresenta nesta condição, é possível estimar qual seria a capacidade ideal. Este será o primeiro experimento conduzido, o experimento 600/∞/4/0.

A Sugar estuda ampliar a movimentação de seu terminal para um milhão de toneladas por ano ou para 1,4 milhão de toneladas por ano. Desta forma, a experimentação contemplará estes dois valores em momentos distintos, pois para cada uma destas quantidades serão feitos diferentes experimentos e alterações no modelo para que o terminal opere de forma satisfatória sob essas novas quantidades.

4.6.1 EXPERIMENTO 600/∞/4/0

Com a condição de armazém com capacidade infinita, mantendo todos os outros parâmetros inalterados, o terminal não apresentou nenhuma fila de trens em nenhum momento. A fila de

caminhões apresentou valores irrisórios, chegando a no máximo 5 caminhões em determinados instantes em algumas replicações. O nível de estoque apresentou comportamento mais saudável, não apresentando nenhum momento de stock-out. A quantidade máxima de açúcar observada no armazém foi de cerca de 15.000 toneladas após 10 replicações.

A Figura 29 apresenta o Dashboard de uma das replicações.

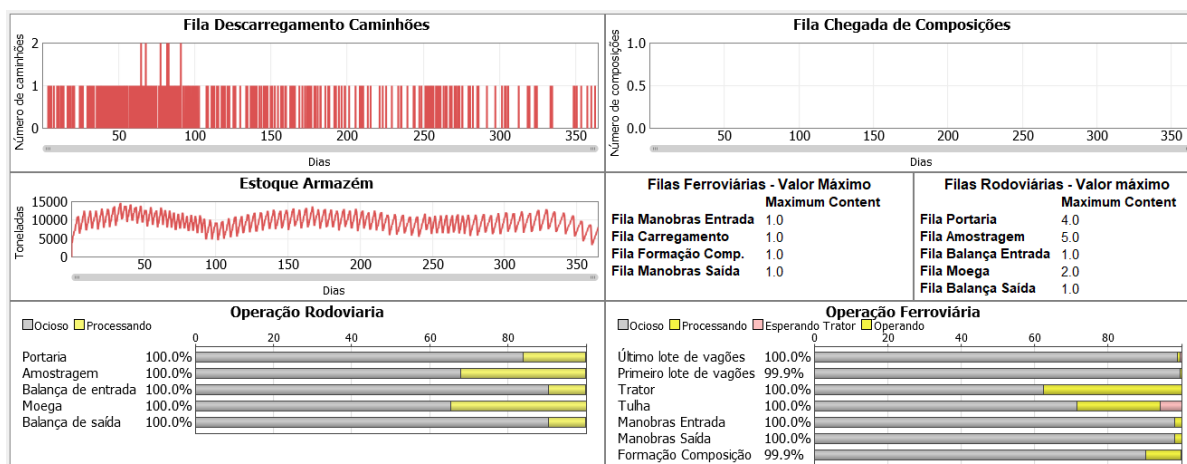


Figura 29 - Dashboard do experimento 600/∞/4/0

O terminal nessas condições opera de maneira próxima do ideal, com filas muito pequenas. O próximo experimento estudará as mesmas condições, mas agora considerando uma movimentação anual de 1 milhão de toneladas.

4.6.2 EXPERIMENTO 1000/∞/4/0

Este experimento consistirá simplesmente em aumentar a chegada de trens e caminhões para que a movimentação do terminal chegue ao valor de um milhão de toneladas, mantendo todos os outros parâmetros do experimento anterior inalterados. Para isso, basta alterar a Demanda Anual (DA) da seção 4.3 de 600 mil toneladas para um milhão de toneladas e recalculá-la. Feitas as alterações no modelo, basta executar a simulação e analisar os resultados obtidos. Os resultados deste experimento são apresentados na Figura 30.

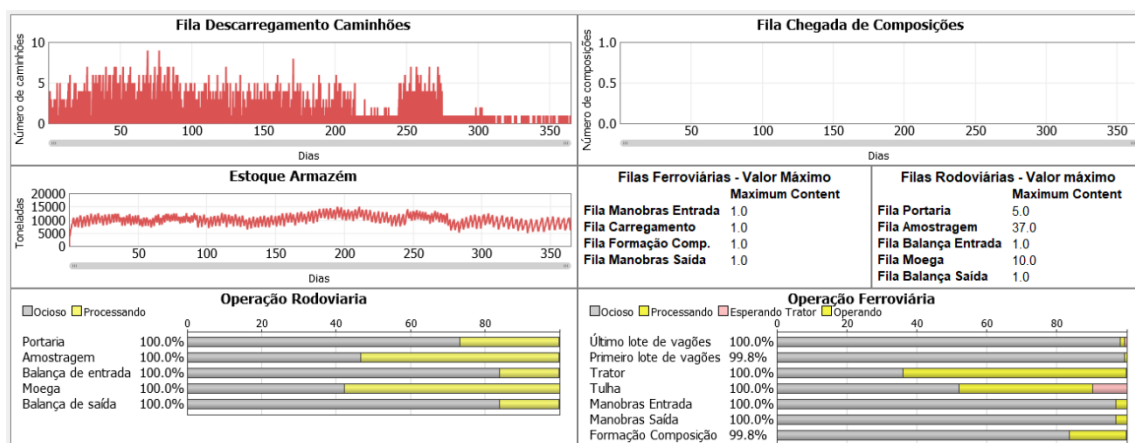


Figura 30 - Dashboard do experimento 1000/∞/4/0

A consequência direta do aumento de movimentação é o aumento do número de caminhões e trens que entram e saem do terminal. Os caminhões, em número de 16 mil na configuração anterior, passam para aproximadamente 28 mil. Já as composições passaram de 82 para 140. Isto faz com que o intervalo entre as chegadas de caminhões e trens diminua. Podemos observar que, na nova configuração, o terminal apresenta filas na operação rodoviária. As maiores filas de caminhões observadas são na amostragem e na moega, que apresentaram filas de até 50 e 20 caminhões, respectivamente, após 10 replicações. As taxas de utilização dos recursos também sofreram alterações: as taxas de ociosidade diminuíram, principalmente na amostragem, na moega, no trator e na tulha.

A fila de caminhões é fruto da diminuição do intervalo entre os caminhões e da limitação dos recursos. Para extinguir estas filas, o próximo experimento contempla a adição de um novo ponto de amostragem e de mais uma moega.

É interessante notar que mesmo com o aumento do fluxo de 600.000 toneladas para 1 milhão, o valor máximo atingido pelo estoque continua na faixa das 15.000 toneladas.

4.6.3 EXPERIMENTO 1000/∞/4/Am/Mo

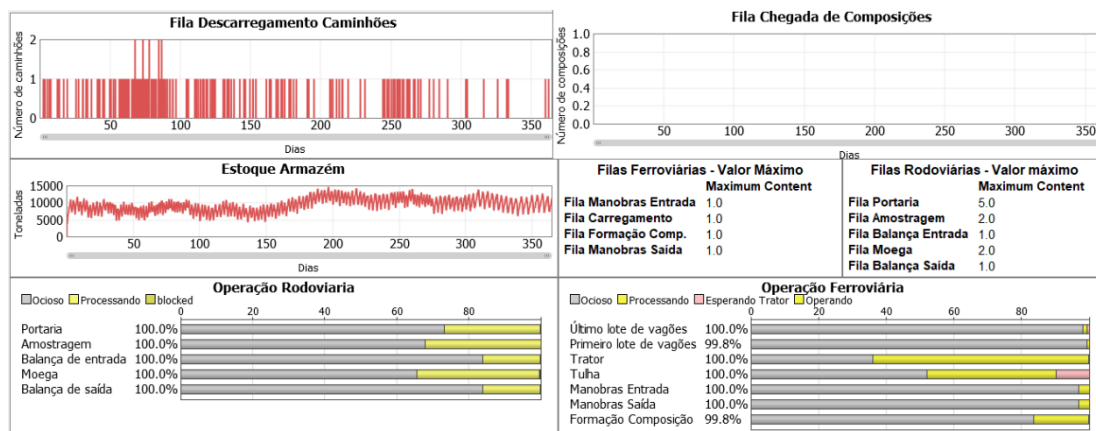


Figura 31 - Dashboard do experimento 1000/∞/4/Am/Mo

A figura 31 apresenta o Dashboard deste experimento. Com a adição de mais um ponto de amostragem e de mais uma moega, é possível ver que todas as filas de caminhões ficam abaixo de 5 caminhões. O nível de estoque do armazém continua atingindo valores de no máximo 15.000 toneladas.

Conclui-se, portanto, que para que o terminal opere satisfatoriamente com uma movimentação anual de um milhão de toneladas, é necessária uma ampliação da capacidade do armazém para 15 mil toneladas, a adição de um novo ponto de amostragem e de uma moega. A

Tabela 8 mostra os investimentos necessários para que o terminal opere com a demanda anual de um milhão de toneladas.

	Situação Original	Expansão Contemplada
Demanda Anual	600.000 t	1.000.000
Pontos de Amostragem	1	2
Moegas	1	2
Capacidade do Armazém	8.000 t	15.000 t

Tabela 8 - Alterações necessárias para atingir demanda anual de um milhão de toneladas

Uma vez atingida uma operação satisfatória para a movimentação anual de um milhão de toneladas, contempla-se agora a expansão para 1,4 milhão de toneladas. O próximo experimento mantém todos os parâmetros usados neste experimento inalterados, com a exceção da demanda anual, que de um milhão passa para 1,4 milhão de toneladas.

4.6.4 EXPERIMENTO 1400/∞/4/Am/Mo

Com um novo aumento da movimentação anual do terminal, o número de caminhões e trens que chegam e saem do terminal aumenta ainda mais. Consequentemente, o intervalo entre chegadas diminui consideravelmente, provocando filas e um pior desempenho do terminal como um todo. Os resultados obtidos estão na Figura 32.

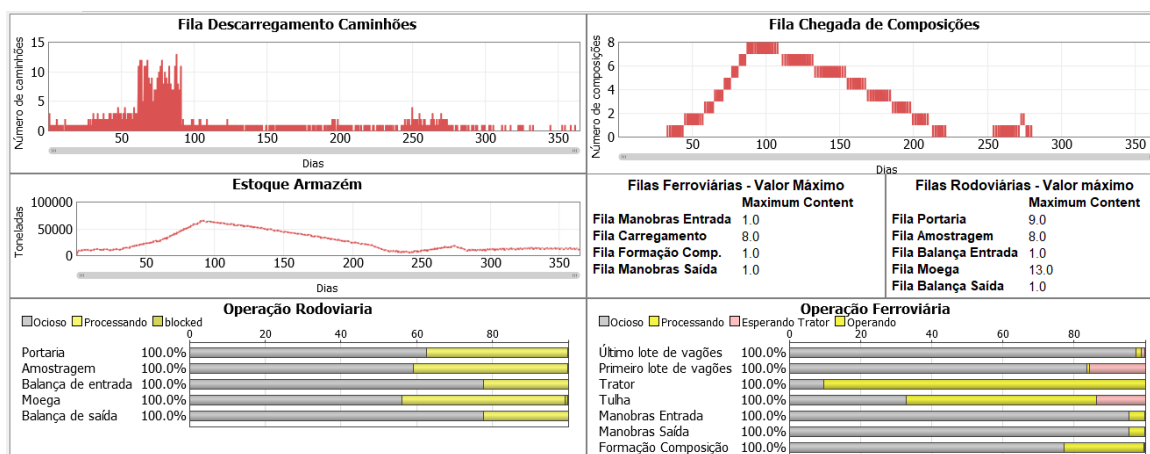


Figura 32 - Dashboard do experimento 1400/∞/4/Am/Mo

Com o aumento da movimentação anual, o número de caminhões passou de 28 mil para quase 40 mil. O número de composições que chegam ao terminal aumentou de 140 para 196. Nestas condições, no período simulado, entraram no armazém 1.412.735 toneladas de açúcar e saíram 1.404.225 toneladas. A diferença de 8.510 toneladas entre estes dois valores deve-se ao fato que ao término da simulação um trem estava entrando no terminal.

O nível do estoque do armazém, ainda configurado para ter capacidade infinita para estudar seu comportamento, chegou ao incrível valor de mais de 65 mil toneladas, valor simplesmente inviável para as dimensões físicas do terminal. A fila de caminhões aumentou um pouco em relação ao experimento anterior, mas não apresenta valores preocupantes, ao contrário da fila de composições, que chegou ao valor de oito composições, sendo que, como discutido

anteriormente, esta fila deve ser de no máximo uma composição pois o terminal não consegue abrigar nas linhas de entrada mais de uma composição por vez.

A taxa de ociosidade dos recursos da operação ferroviária aumentou significativamente, principalmente do trator e da tulha. É possível notar também que tanto o carregamento da tulha quanto o desmembramento dos lotes das composições foram prejudicados pela falta de disponibilidade do trator.

O trator torna-se, portanto, o alvo do próximo experimento, que contemplará a adição de um novo trator para tentar otimizar a operação ferroviária e carregar as composições de maneira mais rápida, de forma a eliminar a fila de composições apresentada.

4.6.5 EXPERIMENTO 1400/∞/4/Am/Mo/Tr

Com a adição do trator, percebe-se uma melhora significativa na operação do terminal. O nível de estoque voltou ao nível máximo de 15.000 toneladas; as filas rodoviárias mantiveram o comportamento anterior; a fila de composições diminuiu, mas continua problemática; o percentual do tempo em que os recursos da operação ferroviária perdiam esperando a disponibilidade do trator também foi quase anulada; houve stock-out em diversos pontos ao longo da simulação. A Figura 33 apresenta o Dashboard deste experimento.

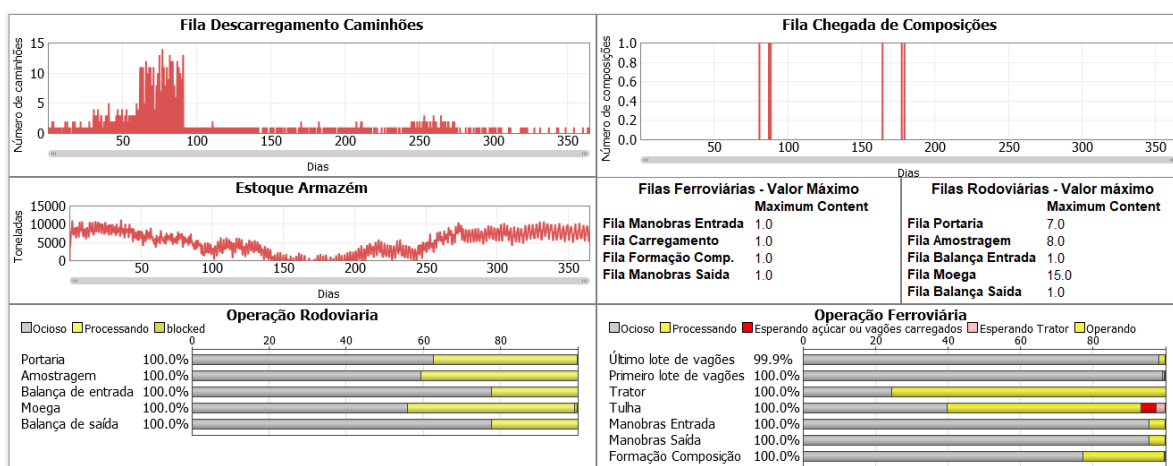


Figura 33 - Dashboard do experimento 1400/∞/4/Am/Mo/Tr

A média do intervalo de chegadas entre os trens no mês de julho é de aproximadamente 31 horas. Somando todos os processos pelos quais o trem tem que passar do momento que entra no terminal ao momento que vai para as linhas de saída, em uma situação ideal, onde não há nenhum atraso, o trem permanece no terminal por cerca de 31 horas. Entretanto, este valor representa a permanência mínima do trem em uma situação ideal, de forma que em geral, o trem permanece mais do que 31 horas entre a chegada e as linhas de saída. A consequência disso são as filas de composições observadas.

Para anular estas filas, seria necessário diminuir o tempo de permanência da composição no terminal, diminuindo o tempo de processamento de alguma das etapas do fluxo. As manobras de entrada e saída e o desmembramento e formação da composição são processos difíceis de serem otimizados e que não podem ser resolvidos através da compra de uma máquina, mas requerem um estudo à parte, pois envolvem variáveis que não são escopo deste estudo, como por exemplo, o número de vagões por composição, o tamanho dos vagões e o layout das linhas férreas. Desta forma, a adição de uma tulha será uma das alterações consideradas no próximo experimento.

Outro problema constatado foram as filas na operação rodoviária. A moega apresenta a maior fila, com 14 caminhões. A adição de outra moega também será contemplada no próximo experimento.

Finalmente, a presença de momentos em que o nível do estoque chegou a zero é outro problema que deve ser remediado. Após diversos experimentos utilizando 4 mil como o valor do estoque inicial, pois este valor representa 50% da capacidade atual do armazém, e constatando que a capacidade do estoque será expandida para, no mínimo, 15 mil toneladas, é preciso considerar novamente o estoque inicial como 50% da capacidade do terminal, para assim representar um valor mais condizente com a operação de um terminal com capacidade maior ou igual a 15 mil toneladas. Portanto, no próximo experimento, o valor do estoque inicial considerado será de 7.500 toneladas.

4.6.6 EXPERIMENTO 1400/ ∞ /7,5/Am/Mo/Tr/Tu/Mo

A adição de mais uma moega, de uma tulha e a utilização de 7,5 mil como o valor do estoque inicial foram suficientes para fazer com que o terminal opere de maneira satisfatória

movimentando 1,4 milhão de toneladas ao ano. O Dashboard do experimento está representado na Figura 34.

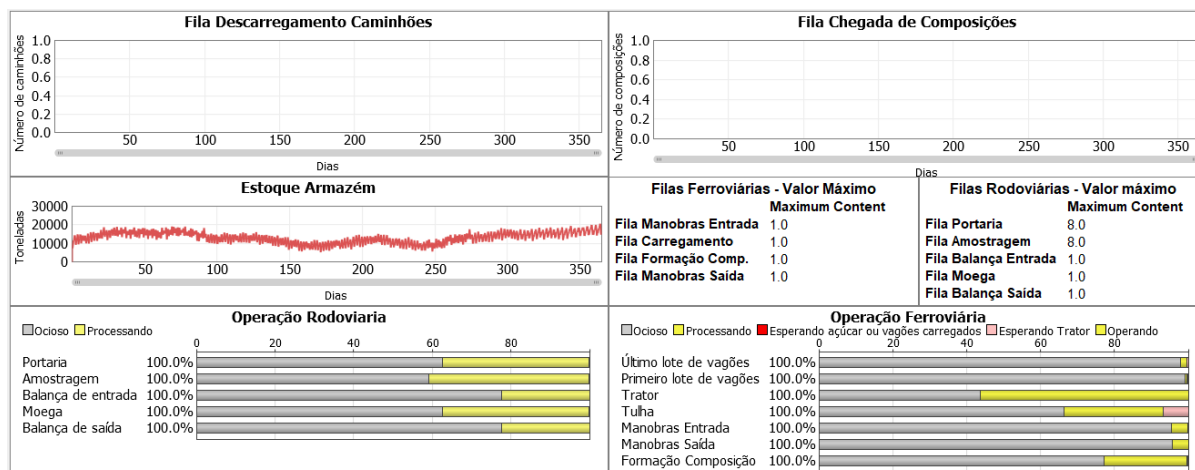


Figura 34 - Dashboard do experimento 1400/∞/4/Am/Mo/Tr/Tu/Mo

Como é possível verificar, a fila de descarregamento dos caminhões foi eliminada, assim como a fila de composições. O nível de estoque chegou a um valor máximo de 20.625 após diversas replicações e não apresentou nível de estoque zero em nenhum momento. Como era de se esperar, o aumento da movimentação do terminal de 1.000.000 para 1.400.000 toneladas exige um armazém de maior capacidade. A capacidade do novo armazém deve ser de 21.000 toneladas, neste caso. A taxa de ociosidade de todos os equipamentos é superior a 40%.

Desta forma, conclui-se que não são necessários mais experimentos e as alterações necessárias para que o terminal movimente 1,4 milhão de toneladas anuais estão resumidas na Tabela 9.

	Situação Original	Expansão Contemplada
Demanda Anual	600.000 t	1.400.000
Pontos de Amostragem	1	2
Moegas	1	3
Capacidade do Armazém	8.000 t	21.000 t
Tulhas	1	2
Tratores	1	2

Tabela 9 - Alterações necessárias para atingir demanda anual de 1,4 milhão de toneladas

4.7 ANÁLISE DOS RESULTADOS DA SIMULAÇÃO

O estudo encomendado pela Sugar para aumento da capacidade do terminal A contempla dois cenários. Cada cenário apresenta um valor diferente para a movimentação anual a ser atingida. O primeiro é de uma expansão da movimentação anual para 1.000.000 toneladas. O segundo, para 1.400.000 toneladas anuais.

Após a realização do estudo de simulação da seção anterior, é possível determinar as alterações necessárias para que o terminal opere de modo satisfatório nos dois cenários de expansão contemplados.

A Tabela 10 apresenta os resultados obtidos através do estudo de simulação para os dois cenários. A expansão da capacidade do armazém, das 8.000 toneladas atuais, para 15.000 toneladas e 21.000 toneladas, respectivamente, é uma mudança exigida pelos dois cenários, assim como a adição de um ponto adicional de amostragem.

As demais alterações são exclusivas de cada cenário. O terminal conta atualmente com apenas uma moega. O primeiro cenário requer a adição de uma nova moega, enquanto o segundo cenário requer a adição de duas moegas em relação à configuração atual do terminal. O número de tulas e tratores da configuração atual não precisa ser alterado para a ampliação contemplada pelo primeiro cenário, enquanto no segundo cenário é necessária a adição de um trator e uma tulha.

	Situação Original	Cenário 1	Cenário 2
Demanda Anual	600.000 t	1.000.000	1.400.000
Pontos de Amostragem	1	2	2
Moegas	1	2	3
Capacidade do Armazém	8.000 t	15.000 t	21.000 t
Tulhas	1	1	2
Tratores	1	1	2

Tabela 10 – Alterações contempladas pelos dois cenários

Todas as alterações descritas são fruto da necessidade de atingir as metas dos indicadores operacionais definidos anteriormente:

- Fila de caminhões inferior a 10 caminhões
- Nenhum trem na fila de composições
- Nenhuma situação de stock-out

- Probabilidade de um trem permanecer no terminal por mais de 32 horas menor que 5%
- Probabilidade de um caminhão permanecer no terminal por mais de 90 minutos menor que 5%

A Tabela 11 apresenta estes indicadores operacionais observados durante a simulação que comprovam que, com os recursos e investimentos descritos na Tabela 10, o terminal apresenta um ótimo desempenho tanto no cenário 1 quanto no cenário 2.

Indicadores Operacionais	Cenário 1	Cenário 2
Máxima fila de caminhões observada	5	8
Máxima fila de trens observada	0	0
Situações de Estoque Zero	0	0
Probabilidade de um trem ficar no terminal por mais de 32 horas	0,0%	0,0%
Probabilidade de um caminhão ficar no terminal por mais de 90 minutos	0,3%	0,2%

Tabela 11 – Alterações contempladas pelos dois cenários

5 ANÁLISE ECONÔMICA

Esta seção tem por objetivo avaliar econômica e financeiramente as alterações contempladas pelo estudo de simulação. Para isto, é feito um levantamento dos investimentos necessários para os dois cenários. Em seguida, é feita a avaliação dos dois cenários frente a uma série de premissas.

5.1 LEVANTAMENTO DOS INVESTIMENTOS

O investimento necessário para cada um dos cenários será descrito a seguir. Os dados foram coletados de relatórios confidenciais da Pöyry de estudos semelhantes realizados com clientes do setor sucroenergético.

Para o cenário 1, são necessárias a ampliação da capacidade do armazém para 15.000 toneladas e a adição de um ponto de amostragem e de uma moega. A ampliação do armazém consiste em uma obra civil complexa que inclui atividades como escavação, reaterro, fundações em concreto, estruturas de concreto, estruturas metálicas, pisos, canaletas e cobertura. Em outro estudo realizado pela Pöyry, um armazém de granéis sólidos com capacidade para 10.000 toneladas foi ampliado para comportar 16.000 toneladas. O custo desta expansão foi estimado em aproximadamente R\$ 5 milhões.

Para a adição de um ponto de amostragem é necessário: a construção de uma base e cobertura para o local de amostragem de aproximadamente 500 m², no valor de R\$ 400.000; o sistema de amostragem que coleta amostras diretamente do caminhão, no valor de R\$ 200.000; construção da estrutura para o laboratório de amostragem, no valor de R\$ 70.000; e equipamentos do laboratório de amostragem, no valor de R\$ 50.000. Somando estes valores, o investimento total necessário para um novo ponto de amostragem é de R\$ 720.000.

A adição de uma moega requer a construção da estrutura de aproximadamente 70 m², no valor de R\$ 220.000, a construção da cobertura da moega, de aproximadamente 270 m², no valor de R\$ 440.000, e dos túneis e estruturas para transportar o açúcar da nova moega para as correias no interior do terminal, no valor de R\$ 165.000. O investimento total para adição da moega é, portanto, de R\$ 825.000. Com estes valores, é possível estimar que o investimento total necessário para o cenário 1 é de R\$ 6.545.000. Os investimentos do cenário 1 estão resumidos na Tabela 12.

Investimentos do Cenário 1	
Modificação	Valor (R\$)
Expansão do armazém	
Expansão do armazém	5.000.000
Total - Expansão do armazém	5.000.000
Adição de ponto de amostragem	
Base e cobertura	400.000
Sistema de amostragem	200.000
Estrutura do laboratório	70.000
Equipamentos do laboratório	50.000
Total - Adição de ponto de amostragem	720.000
Adição de moega	
Estrutura	220.000
Cobertura	440.000
Estrutura de transporte do açúcar	165.000
Total - Adição de moega	825.000
Total do cenário 1	6.545.000

Tabela 12 - Investimentos do cenário 1

Para o cenário 2, além das alterações descritas para o cenário 1, adicionam-se a aquisição de um trator, de uma tulha, de mais uma moega e a expansão da capacidade do armazém para 21.000 toneladas. Novamente, os investimentos foram estimados de acordo com relatórios de estudos confidenciais semelhantes realizados pela Pöyry.

A expansão do armazém para 21.000 toneladas é orçada no valor de R\$ 8.000.000

A adição de mais uma moega, como visto acima, exige investimento de R\$ 825.000. Já a adição de uma tulha inclui a adição de um REDLER de alimentação (espécie de buffer que armazena uma pequena quantidade de açúcar e permite que a vazão de açúcar para o vagão seja uniformemente distribuída longitudinalmente) no valor de R\$ 260.000 e da tulha em si, no valor de R\$ 750.000. Além disso, são necessárias estruturas de suporte, chutes e dutos para interligação com a nova tulha, no valor de R\$ 410.000. O investimento total para a adição da tulha é, portanto, de R\$ 1.420.000.

Finalmente, a compra de mais um trator de manobra para os vagões tem um valor de R\$ 105.000. Desta forma, o custo total para o cenário 2 é de R\$ 10.895.000. Os investimentos do cenário 2 estão resumidos na Tabela 13.

Investimentos do Cenário 2	
Modificação	Valor (R\$)
Expansão do armazém	
Expansão do armazém 21.000 t	7.000.000
Total - Expansão do armazém	7.000.000
Adição de ponto de amostragem	
Base e cobertura	400.000
Sistema de amostragem	200.000
Estrutura do laboratório	70.000
Equipamentos do laboratório	50.000
Total - Adição de ponto de amostragem	720.000
Adição de moega	
Estrutura	220.000
Cobertura	440.000
Estrutura de transporte do açúcar	165.000
Total - Adição de moega	825.000
Adição de outra moega	
Estrutura	220.000
Cobertura	440.000
Estrutura de transporte do açúcar	165.000
Total - Adição de moega	825.000
Adição de tulha	
Redler	260.000
Tulha	750.000
Estrutura, chutes e dutos	410.000
Total - Adição de tulha	1.420.000
Adição de trator	
Trator	105.000
Total - Adição de trator	105.000
Total do cenário 2	10.895.000

Tabela 13 - Investimentos do cenário 2

5.2 AVALIAÇÃO DOS CENÁRIOS

Após o levantamento dos investimentos necessários em cada um dos cenários, é interessante comparar o impacto e o benefício de cada um destes cenários. A avaliação do *status quo*, ou seja, se a Sugar decidisse manter inalterada a capacidade atual do terminal em 600.000 toneladas, também é realizado, mas por motivos puramente ilustrativos, já que é evidente que a opção de não expandir o terminal não é viável.

O terminal já está movimentando mais do que sua capacidade máxima adotando medidas paliativas e que acarretam em diversos custos, como por exemplo a chegada de caminhões de madrugada e a permanência dos caminhões por muito tempo no terminal esperando para serem descarregados. Esta ineficiência que o terminal apresenta na operação atual diminui o nível de serviço da empresa, aumenta seus custos e limita sua receita, podendo prejudicar irreparavelmente a imagem da empresa no mercado. A expansão do terminal é o único

caminho lógico a ser seguido. Resta saber qual expansão é mais benéfica, através da realização desta análise econômica.

Para estas análises, são necessários dados como a receita da empresa, seus custos, suas despesas, seu lucro, da taxa mínima de atratividade da empresa, previsão das próximas safras, da demanda e do preço de venda do açúcar dos próximos anos. Mais especificamente, seria necessário obter acesso aos dados do terminal sobre receita e custos. Entretanto, estes dados não foram disponibilizados pela Sugar, de forma que muitas simplificações e premissas serão adotadas para a realização deste estudo. Estas premissas e simplificações geram um alto grau de imprecisão, de forma que serão realizadas análises de sensibilidade com as principais variáveis para que o estudo tenha mais significância.

É importante ressaltar que o estudo apresentado a seguir tem como principal objetivo exemplificar um dos métodos que a Sugar poderia usar para fazer a avaliação dos dois investimentos. Entretanto, este estudo está severamente limitado pela falta de dados e não deve ser usado como base definitiva para a tomada de decisão, é meramente um estudo preliminar que apresenta o método, adota premissas e apresenta resultados baseados nessas premissas.

Devido à grande quantidade de variáveis, fica inviável estudar os efeitos da variação temporal de cada variável. Desta forma, se adotará um valor médio que será usado durante todo o período do estudo, que será de 10 anos, como se cada variável permanecesse constante ao longo do tempo.

Naturalmente, esta é uma premissa inválida, já que variáveis como o preço do açúcar e a demanda oscilam drasticamente ano a ano. Entretanto, dada a indisponibilidade de dados, esta é uma premissa que deve ser adotada para viabilizar o estudo, pois a análise de sensibilidade permite, por exemplo, avaliar qual o melhor cenário se a média de preço do açúcar dos próximos dez anos for de 18 centavos por libra, ou 19, 20 ou 21; mas se para cada um dos 10 anos forem adotados valores diferentes para cada uma das variáveis, os cenários são virtualmente infinitos.

Portanto, para cada variável será adotado um valor base e uma faixa de variação para a análise de sensibilidade.

O açúcar é uma commodity cujo preço é cotado por instituições financeiras. Atualmente, o preço do açúcar é de aproximadamente 0,14 Dólares por libra (Intercontinental Exchange, 2017). Nos últimos 10 anos, o preço do açúcar oscilou entre 10 e 30 centavos de Dólar por libra. A média dos últimos 10 anos é de 18 centavos de Dólar por libra, ou R\$ 1.270 por tonelada. Será adotada a premissa de que a média do preço do açúcar nos próximos 10 anos se manterá entre 10 e 30 centavos, e como valor base será adotado o preço de 18 centavos.

Valor Base (US\$/libra)	Faixa de variação (US\$/libra)
0,18	0,10 – 0,30

Tabela 14 - Preço do açúcar - premissa adotada

Os valores do estudo são dados em Dólares para evitar a necessidade de adicionar mais uma variável ao estudo, a taxa de câmbio. Desta forma, os investimentos levantados para os dois cenários, de R\$ 6.545.000 e R\$ 10.895.000 serão convertidos em dólares usando a taxa de câmbio atual (3,20) resultando no valor de US\$ 2.045.313 para o cenário 1 e US\$ 3.404.688 para o cenário 2.

A Sugar, na safra 15-16, movimentou em seu terminal 621.312 toneladas de açúcar. Este valor é superior à capacidade atual do terminal, mas isso foi possível através da adoção de práticas paliativas, como a chegada de caminhões durante a madrugada. Será adotada uma taxa de crescimento da demanda anual. Nos últimos 16 anos, a quantidade de açúcar exportado cresceu em média 7% ao ano, conforme citado na seção 2.1. Desta forma, o valor base adotado para o crescimento da demanda será de 7%, e, para a análise de sensibilidade, será estudado o impacto do crescimento da demanda variando entre 1% e 15%.

Valor Base	Faixa de variação
7%	1% - 15%

Tabela 15 – Crescimento da demanda - premissa adotada

Considerando que na safra-15-16 foram movimentadas cerca de 620 milhões de toneladas e adotando o valor de 7% de crescimento, na safra 17-18, que será o “Ano Zero” do estudo, a demanda foi de 709.838 toneladas. A Figura 35 apresenta a evolução da demanda no período de 10 anos do estudo. É possível verificar que já na safra 23-24 (ano 6) a demanda ultrapassa a quantidade de movimentação do cenário 1, de 1.000.000 de toneladas.

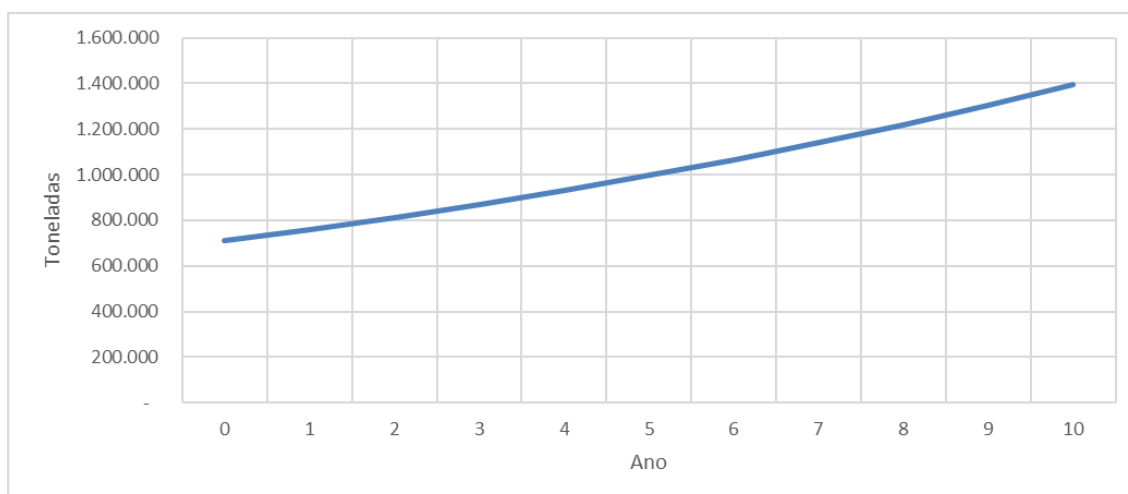


Figura 35 - Evolução da demanda

Serão comparados neste estudo 3 cenários: o status quo, chamado de cenário 0, caso a Sugar opte por manter a capacidade atual de 600.000 toneladas anuais, o cenário 1, que contempla ampliação da capacidade para 1.000.000 de toneladas anuais e o cenário 2, que contempla a ampliação para 1.400.000 toneladas. A Figura 36 apresenta a quantidade de açúcar movimentada no terminal nos 10 anos nos três cenários, respeitando a limitação da capacidade em cada um deles.

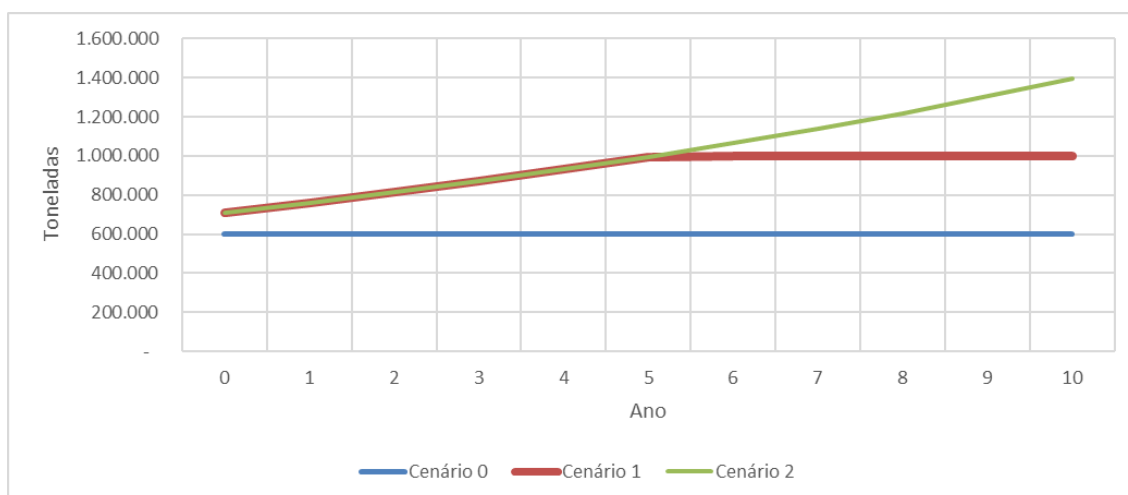


Figura 36 – Quantidade movimentada em cada cenário

A Sugar é uma sociedade anônima, e, portanto, divulga suas demonstrações financeiras para o público todo ano. De acordo com a última demonstração financeira, o lucro líquido foi de 0,41% em relação à receita. Como a Sugar não disponibiliza dados da lucratividade por setor, produto ou terminal, e como não é possível ter acesso ou sequer estimar os custos incorridos

no terminal, é necessário adotar a premissa que o lucro pelo qual o terminal é responsável é também igual a 0,41% de sua receita. O valor base adotado será de 0,4%, variando de 0,1% até 1%.

Valor Base	Faixa de variação
0,4%	0,1% - 1,0%

Tabela 16 – Percentual do lucro em relação à receita - premissa adotada

Esta premissa é um dos pontos mais delicados desta análise. Sem ela, não é possível calcular os indicadores e chegar aos resultados desejados; entretanto, é importante ressaltar mais uma vez as limitações desta análise, principalmente desta premissa que estima o lucro de cada ano como um percentual fixo da receita, algo que não reflete a realidade.

A taxa mínima de atratividade base adotada será de 8%, arredondando a taxa Selic atual de 8,25%, que é a menor taxa de desconto utilizada em qualquer investimento. A faixa de variação será entre 8% e 15%.

Valor Base	Faixa de variação
8%	8% - 15%

Tabela 17 – Taxa mínima de atratividade - premissa adotada

As quatro variáveis deste estudo são, portanto, o preço do açúcar, a taxa de crescimento da demanda, a percentual do lucro em relação à receita e a taxa mínima de atratividade. Utilizando o valor base de cada uma destas variáveis, é possível através das quantidades da Figura 36 e do preço, calcular a receita para cada um dos três cenários; usando o percentual do lucro em relação à receita, é possível calcular o lucro; e considerando o valor dos investimentos dos cenários 1 e 2 como valores negativos no ano 0, e o lucro como valor positivo, é possível calcular o fluxo de caixa conforme a Tabela 18, que apresenta nas linhas o fluxo de caixa de cada cenário (em milhares de Dólares) e nas colunas o ano.

Cenário/Ano	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	952	952	952	952	952	952	952	952	952	952	952
1	-919	1.206	1.290	1.380	1.477	1.580	1.587	1.587	1.587	1.587	1.587
2	-2.278	1.206	1.290	1.380	1.477	1.580	1.691	1.809	1.936	2.071	2.216

Tabela 18 - Fluxo de Caixa dos cenários

Utilizando o fluxo de caixa e o valor base da taxa mínima de atratividade de 8%, é possível calcular o Valor Presente Líquido (VPL), o *Payback* descontado e a Taxa Interna de Retorno (TIR) dos três cenários, conforme a Tabela 19.

Cenário/Indicador	VPL (US\$)	<i>Payback</i> descontado (anos)	TIR (%)
Cenário 0	7.343.064	-	-
Cenário 1	8.873.959	5,49	21,18%
Cenário 2	8.431.369	8,10	13,30%

Tabela 19 - Indicadores econômicos dos cenários

De acordo com os três indicadores utilizados, o melhor investimento é o cenário 1, que contempla ampliação da capacidade do terminal para 1.000.000 de toneladas anuais. Esta conclusão foi obtida utilizando o valor base de cada uma das quatro variáveis. Estas variáveis, entretanto, possuem um alto grau de imprecisão, de forma que será realizada uma análise de sensibilidade para estudar o impacto da alteração destas variáveis nos resultados obtidos.

Para a análise de sensibilidade, será utilizado como indicador somente o VPL. Para excluir o cenário 0 das comparações, será utilizado o VPL relativo ao cenário 0, ou seja, a diferença entre os cenários de expansão com o cenário 0. Este valor representa o VPL adicional que se obtém com as expansões. Utilizando os valores da Tabela 19, o VPL relativo do cenário 1 é de:

$$8.873.959 - 7.343.064 = 1.530.894$$

Já o VPL relativo do cenário 2 é de:

$$8.431.369 - 7.343.064 = 1.088.305$$

Desta forma, se um dos dois cenários apresentar um VPL relativo negativo, significa que o VPL deste cenário é inferior ao do cenário 0, de forma que manter a capacidade como está é melhor para a empresa.

A análise de sensibilidade será feita estudando o impacto da alteração de cada uma das quatro variáveis.

5.2.1 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO PREÇO DO AÇÚCAR

A Figura 37 apresenta o VPL relativo dos cenários 1 e 2 com a variação do preço do açúcar.

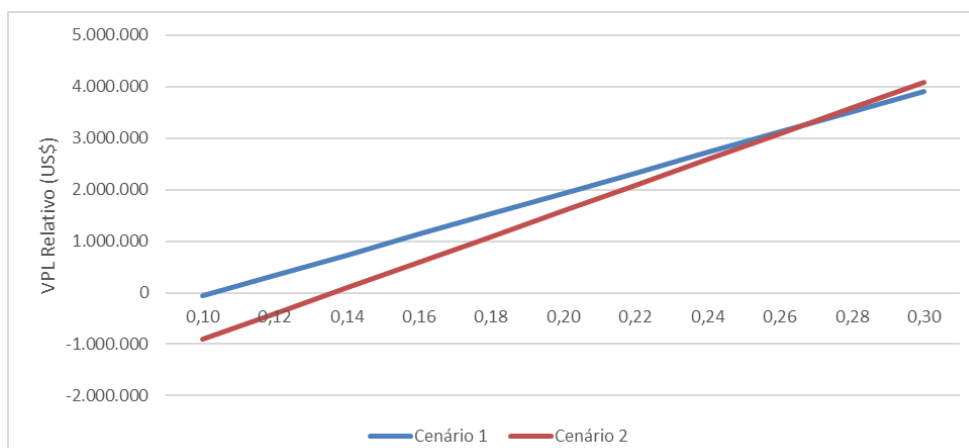


Figura 37 – Análise de Sensibilidade do Preço do açúcar

O gráfico apresenta resultados muito importantes. Em primeiro lugar, observamos que para preços inferiores a 10 centavos, o VPL relativo do cenário 1 fica negativo, ou seja, a melhor alternativa é manter a capacidade do terminal atual e não realizar nenhum investimento. Além disso, somente quando o preço do açúcar é maior que 27 centavos que o VPL do cenário 2 supera o VPL do cenário 1. Desta forma, conclui-se que para qualquer preço entre 10 e 26 centavos, a melhor alternativa é o cenário 1.

5.2.2 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO CRESCIMENTO DA DEMANDA

A Figura 38 apresenta o VPL relativo dos cenários 1 e 2 com a variação do crescimento da demanda.

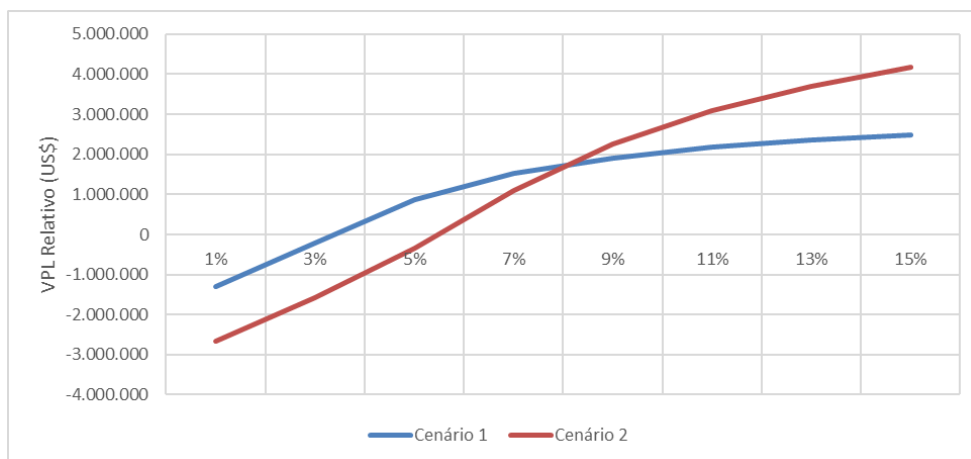


Figura 38 – Análise de Sensibilidade do crescimento da demanda

Ao contrário do que ocorre com o preço do açúcar, a variação do VPL com o crescimento da demanda não é linear. Além disso, para uma taxa de crescimento inferior a 1%, a melhor alternativa é o cenário 0: se a demanda não vai crescer, não faz sentido aumentar a capacidade; para taxas entre 1% e 8%, a melhor alternativa é o cenário 1: para uma taxa de crescimento moderada, é melhor expandir um pouco a capacidade do terminal, de 600.000 para 1.000.000 de toneladas; finalmente, para taxas de crescimento superiores a 8%, a melhor alternativa é expandir a capacidade para 1.400.000 toneladas.

5.2.3 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO PERCENTUAL DE LUCRO

A Figura 39 apresenta o VPL relativo dos cenários 1 e 2 com a variação do percentual de lucro em relação à receita.

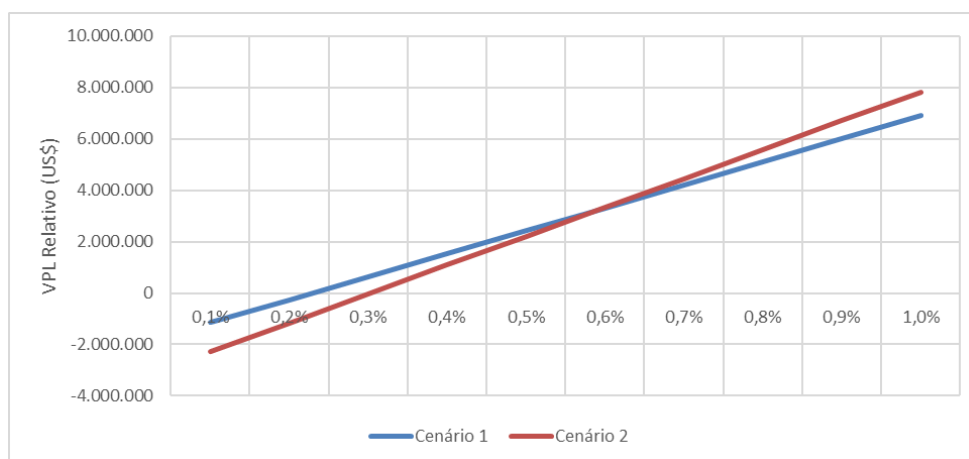


Figura 39 – Análise de Sensibilidade do percentual de lucro

A variação do VPL em relação ao lucro é muito semelhante à variação em relação ao preço, já que ambos impactam de maneira semelhante o fluxo de caixa. Se a percentual do lucro em relação à receita for inferior a 0,2%, a melhor alternativa é manter a capacidade atual do terminal; isto acontece pois com um percentual de lucro tão baixa, a empresa simplesmente não tem entradas suficientes que compensem o alto valor do investimento. Para valores entre 0,2% e 0,6%, o VPL do cenário 1 é superior ao do cenário 2, de forma que o cenário 2 só é interessante para a empresa se o percentual de lucro em relação à receita for superior a 0,6%.

5.2.4 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DA TAXA DE DESCONTO

A Figura 40 apresenta o VPL relativo dos cenários 1 e 2 com a variação da taxa de desconto.

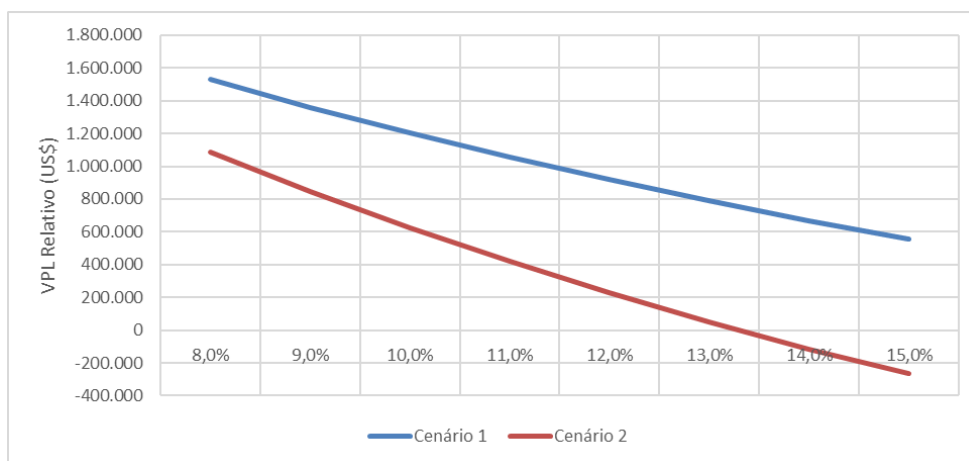


Figura 40 – Análise de Sensibilidade da taxa de desconto

Ao contrário do que ocorre com as outras três variáveis, o VPL relativo diminui com o aumento da taxa de desconto. Outro fator importante é que, no intervalo considerado, não há intersecção entre as duas curvas, e a curva do cenário 1 se mantém sempre acima tanto do zero quanto da curva do cenário 2. Isto significa que para todas as taxas de atratividade mínima consideradas, a melhor opção é a ampliação do terminal para uma capacidade de 1.000.000 de toneladas anuais.

5.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A análise de sensibilidade permite complementar a análise dos resultados obtidos. Em relação ao cenário 0, de manter a capacidade inalterada, fica claro que apenas para situações extremamente improváveis este cenário é a melhor opção: conforme observado na seção anterior, o cenário 0 se mostra o melhor cenário nas seguintes situações:

- Se o percentual de lucro líquido em relação à receita for inferior a 0,2%, que é um valor extremamente baixo para uma empresa de grande porte.
- Se o crescimento da demanda nos próximos 10 anos for inferior a 1%, situação que contraria tanto a análise da Sugar, quanto a tendência histórica do mercado sucroenergético.

- Se o preço da libra de açúcar for inferior a 10 centavos, fato que não ocorreu nos últimos 10 anos em nenhum momento.
- Uma combinação destas variáveis que gere um VPL negativo para os dois cenários de expansão.

Como era de se esperar, a expansão da capacidade do terminal é necessária e traz resultados econômicos positivos para a empresa. Agora resta avaliar qual expansão representa a melhor opção.

A expansão contemplada pelo cenário 2, de 1.400.000 toneladas, é mais vantajosa que a expansão do cenário 1, para 1.000.000 de toneladas, nas seguintes situações:

- Se o preço do açúcar for superior a 27 centavos.
- Se o crescimento da demanda for superior a 8%.
- Se o percentual do lucro em relação à receita for maior que 0,6%.
- Uma combinação destas variáveis que gere um VPL do cenário 2 superior ao do cenário 1.

Apesar de cada um dos primeiros três pontos ser improvável, uma combinação destes fatores já não é tão improvável. Uma situação na qual o preço do açúcar é de 22 centavos e o percentual de lucro é de 0,50% já é suficiente para que o VPL do cenário 2 supere o do cenário 1, por exemplo. Muitas outras combinações das variáveis levam a cenários nos quais é mais vantajosa a expansão do terminal para 1.400.000 toneladas. Entretanto, os dados apontam que a ocorrência destas situações é menos provável que aquelas onde o cenário 1 é mais vantajoso.

Desta forma, é possível concluir que, com os dados atuais, a melhor alternativa é a do cenário 1, de expandir a capacidade do terminal para 1.000.000 de toneladas.

Entretanto, devido ao alto custo do investimento, é de suma importância, antes de se tomar qualquer decisão, que a empresa utilize dados mais precisos, realizando um estudo mais concreto para avaliar a tendência da demanda e dos preços de açúcar para a próxima década, utilizando a taxa de atratividade mínima exigida por seus acionistas e avaliando suas operações internas para prever o lucro da venda de açúcar dos próximos anos.

6 CONCLUSÕES

Este capítulo visa fazer uma síntese do trabalho, avaliar suas limitações e seus desdobramentos. Além disso, são feitas ponderações sobre o trabalho como um todo, pontos de melhoria e próximos passos.

O objetivo definido para este trabalho é o de estudar os investimentos necessários para realizar a expansão da capacidade do terminal, através de um modelo econômico-operacional, com modelagem e simulação do terminal em um software de simulação por eventos discretos. Tais objetivos foram atingidos com sucesso. Foi desenvolvido um modelo do terminal em um software de simulação por eventos discretos, e, através desse modelo, foi possível determinar as alterações necessárias no terminal para expandir sua capacidade de movimentação.

Em seguida, os investimentos necessários para implantar tais alterações foram estimados, e, através do uso de ferramentas de análise econômica e financeira, chegou-se à conclusão que a melhor alternativa é a de expandir a capacidade do terminal para um milhão de toneladas anuais.

Para chegar a esta conclusão, foram adotadas uma série de premissas na análise econômica para definir algumas variáveis necessárias para o cálculo dos indicadores financeiros. Entretanto, estas premissas apresentam certo grau de incerteza devido à indisponibilidade de dados, e desta forma devem ser consideradas como preliminares. Entretanto, a análise econômica apresenta todas as ferramentas necessárias para que os cálculos sejam revisados adotando informações mais precisas.

As conclusões do estudo de simulação, por outro lado, estão plenamente validadas já que todas as premissas adotadas foram muito bem embasadas nos dados apresentados pelo cliente e na teoria apresentada na revisão bibliográfica.

Adicionalmente, outro ponto de melhoria é em relação à distribuição estatística dos tempos operacionais do terminal. Para muitos recursos, foi adotada uma distribuição triangular usando como parâmetros o tempo médio e uma variação de 10% para mais e para menos, usada como máximo e mínimo da distribuição. Para que o modelo ficasse mais preciso, seria necessária a realização de um estudo de cronoanálise para coletar dados sobre o tempo de processamento dos recursos, para que fossem aplicadas distribuições estatísticas mais precisas no modelo.

Finalmente, este trabalho pode ser desenvolvido e melhorado ainda mais. Como as variáveis e possibilidades de alteração em um modelo de simulação são praticamente infinitas, há ainda muitas possibilidades não contempladas neste estudo. De fato, muitas possibilidades foram limitadas pelo escopo do projeto e pelas premissas impostas pela Sugar.

Seria interessante, por exemplo, estudar melhor o impacto que a limitação de horários da operação rodoviária tem no terminal, avaliando qual a melhor configuração, podendo-se adotar uma operação 24h, uma operação em dois turnos ou diversas outras possibilidades.

Neste estudo, para representar o aumento de movimentação contemplado, foi simplesmente aumentado o número de caminhões e composições que entram no terminal. Entretanto, uma abordagem que impactaria muito menos no desempenho do terminal seria a de aumentar a carga que cada caminhão e composição conseguem transportar, através do uso de caminhões com mais carretas e trens com mais vagões.

Adicionalmente, outra possibilidade que não foi estudada é a da redução dos tempos operacionais e do aumento da eficiência de certos recursos. Talvez fosse mais interessante, por exemplo, a troca da tulha atual, que consegue carregar os vagões a uma taxa de 300 toneladas por hora, por uma com uma taxa de 450 toneladas por hora, ao invés da compra de uma tulha adicional. Ponderações semelhantes podem ser feitas em relação à moega, ao ponto de amostragem e às outras alterações apresentadas no trabalho.

Outra possibilidade que não foi abordada é a da alteração do layout do terminal, que talvez permitisse, por exemplo, a presença de mais de duas composições no interior do terminal.

Todas estas possibilidades podem ser fruto de aprimoramentos deste modelo ou colaborações para trabalhos semelhantes que tratem da ampliação da capacidade de movimentação de terminais intermodais de carga.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. Brasília. Disponível em: <<http://www.antt.gov.br>>. Acesso em 03 mai. 2017.

ALVES, J. P. J.; LEAL, J. E. **Modelagem e Simulação dos terminais de granéis agrícolas no Porto de Santos**. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2012.

ANDRADE, L. E. C. **Um estudo sobre terminais intermodais para granéis sólidos**. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

BALLOU, R. H. **Logística empresarial: transportes, administração de materiais e distribuição física**. São Paulo: Atlas, 1995.

BERTALANFFY, L. V. **Teoria geral dos sistemas**. Petrópolis: Vozes, 1975.

BOTTER, R. **Tratamento de Dados em Modelos de Simulação Discreta**. Tese de Livre Docência – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

BRASIL, Ministério do Planejamento. **Programa de Aceleração do Crescimento – Balanço 4 anos – 2007 – 2010**, 2010. Mapa Rodoviário. Ministério dos Transportes. Disponível em <http://www.transportes.gov.br/index/conteudo/id/35852>. Acesso em 23 set. 2017.

CAIXETA-FILHO, J. V.; MARTINS, R. S. **Gestão Logística do Transporte de Cargas**. São Paulo: Atlas, 2010.

CHURCHMAN, C.W. **Introdução a Teoria dos Sistemas**. 2^a. ed. Rio de Janeiro: Vozes, 1972.

CHWIF, L. **Redução de Modelos de Simulação de Eventos Discretos na Sua Concepção: Uma Abordagem Causal**. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Brasília. Levantamento de Safra. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253>>. Acesso em 03 mai. 2017.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL. Brasília. Disponível em: <<http://www.cnabrazil.org.br>>. Acesso em 03 mai. 2017.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. Brasília. Disponível em: <<http://www.cnt.org.br>>. Acesso em: 03 mai. 2017.

COSTA NETO, P.L.O. **Arranjo Físico**. São Paulo, FCAV/USP, 1978.

DE NEUFVILLE, R.; STAFFORD, J. H. **Systems Analysis for Engineers and Managers**. New York: McGraw-Hill, 1971.

DEPARTAMENTO DE PESQUISAS E ESTUDOS ECONÔMICOS DO BRADESCO. São Paulo. Desempenho do Setor Agricultura 2017. Disponível em: <https://www.economiaemdia.com.br/EconomiaEmDia/pdf/infset_agricultura.pdf>. Acesso em 03 mai. 2017.

FALCONER, P.; DRURY, J. **Almacenaje Industrial**. Madrid: Blume, 1979.

FERNÁNDEZ, H. M. **Um modelo para dimensionamento de um sistema intermodal de transporte de carvão na Colômbia**. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

FORRESTER, J. W. **System dynamics, system thinking, and soft OR**. System dynamics review, v. 10, n. 2-3, p. 245-256, 1994.

GONÇALVES, D. et al. **Análise operacional de um terminal de uso privativo de grãos sólidos por simulação de eventos discretos**. Revista ESPACIOS, Caracas, Venezuela, V. 36 (Nº 13) Año 2015, 2015.

HAY, W.W. **An Introduction to Transportation Engineering**. 2ª. ed, New York: John Wiley, 1977.

HENNES, R. G.; EKSE, M. I. **Fundamentos de Ingeniería del Transporte**. Barcelona: Reverté, 1963.

IANNONI, A. P., MORABITO, R. **Análise do sistema logístico de recepção de cana de açúcar: um estudo de caso utilizando simulação discreta**. Gestão & Produção 9.2, n. 2, p. 107-128, ago. 2002.

INTERCONTINENTAL EXCHANGE. New York Stock Exchange. New York. Disponível em: <<https://www.theice.com>>. Acesso em 03 mai. 2017.

KNEPELL, P.; ARANGNO, D. **Simulation Validation: A Confidence Assessment Methodology**. Los Alamitos, 1993.

LAW, A M. **Simulation Modeling and Analysis**. McGraw-Hill, 2007.

LAW, A. M.; MCCOMAS, M. G. **Secrets of successful simulation studies**. In: Proceedings of the 23rd conference on Winter simulation. IEEE Computer Society, 1991. p. 21-27.

LEFTWICH, R.H. **O Sistema de Preços e a Alocação de Recursos**. 5ª. ed, São Paulo: Pioneira, 1960.

LIMA, O. F. J. **Metodologia para Concepção e Dimensionamento de Terminais Multimodais de Pequeno e Médio Porte**. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1988.

MARQUES, J. **Curso de Movimentação Física de Materiais**. São Paulo, FCAV/USP, 1980.

MEDINA, A. C.; CHWIF, L. **Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicação**, 3ª. ed, São Paulo, 2010.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Brasília. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br>>. Acesso em 20 abr. 2017.

MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, DESENVOLVIMENTO E GESTÃO. Brasília. **Plano Nacional de Logística de Transportes**. Relatório Executivo 2011. Disponível em: <<http://bibspi.planejamento.gov.br/handle/iditem/559>>. Acesso em: 15 mai. 2017.

MOURA, R.A. **Sistema e Técnicas de Movimentação e Armazenagem de Materiais**. São Paulo: Iman, 1987.

MUTHER, R. **Systematic Layout Planning**. Boston: Cahnners, 1973.

NAYLOR, T.; Balintfy, J.; Burdick, D.; Chu, K. **Técnicas de Simulação em Computadores**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1971.

NOVAES, A. G. **Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

OLIVEIRA, A. M. K.; CAIXETA-FILHO, J. **Potencial da logística ferroviária para exportação de açúcar em São Paulo: recomendações de localização para armazéns intermodais**. RER, Rio de Janeiro, vol. 45, nº 4, p.823-853, 2007.

PEGDEN, D.; SADOWSKI, R. **Introduction to Simulation Using Siman**. Blacklick: McGraw-Hill, 1995.

RIVES, F. O.; PITA, A. L.; PUENTE, M. M. **Tratado de Ferrocarriles**. Madri: Rueda, 1980.

ROSIS, C. **Application of agent based simulation to analyze the impact of tax policy on the Brazilian soy supply chain**. Trabalho de Formatura – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016. 106 p.

SCHMIDT, J. W.; TAYLOR, R. E. **Simulation and Analysis of Industrial Systems**. Homewood, Illinois: Richard D. Irwin, 1970.

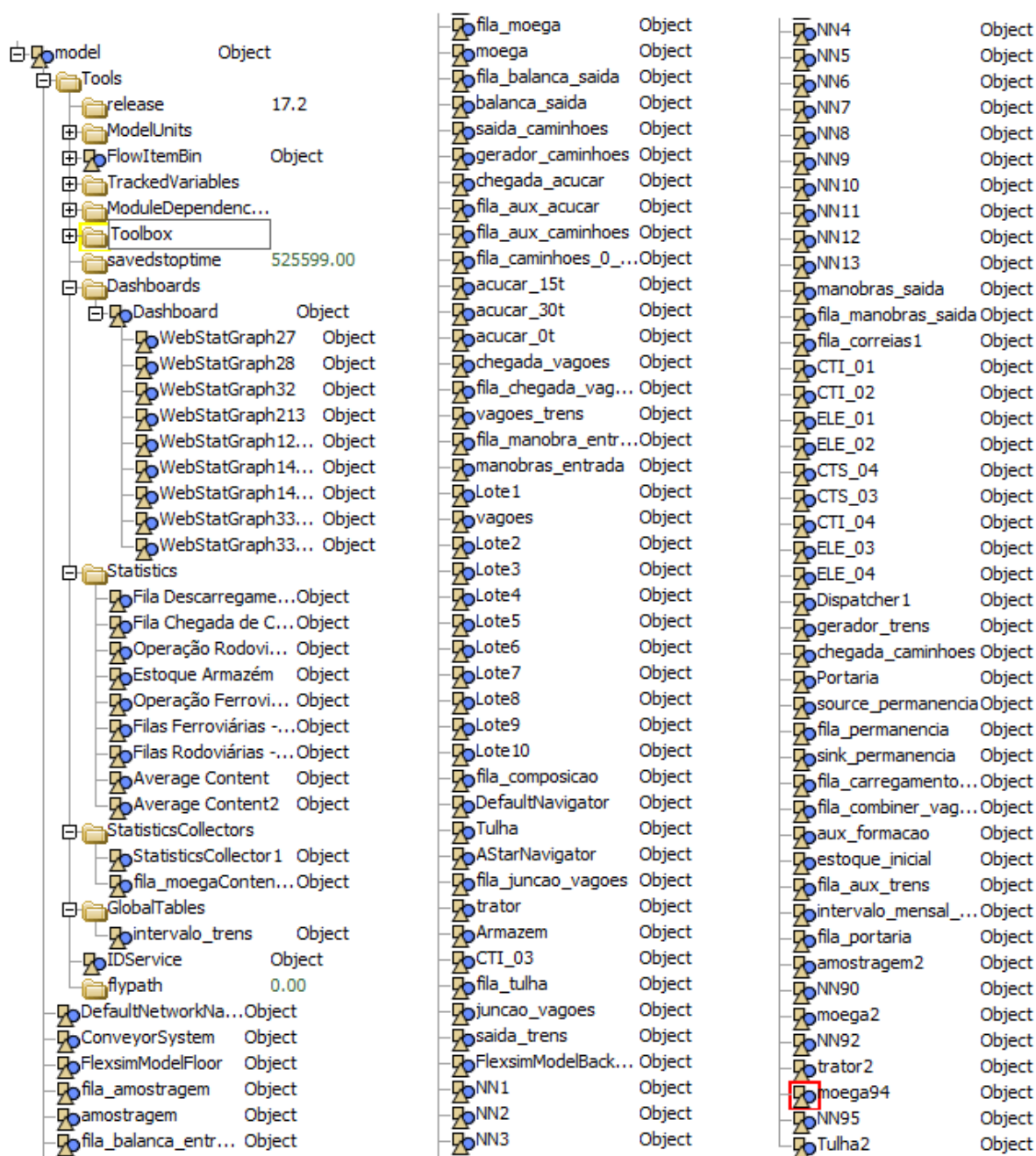
SHANNON, R. E. **Introduction to the Art and Science of Simulation**. Proceedings of the 30th conference on Winter simulation. IEEE Computer Society Press, 1998. p. 7-14.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇUCAR. São Paulo. Disponível em: <<http://www.unicadata.com.br>>. Acesso em 03 mai. 2017.

VINCENT, S. **Input data analysis**. Handbook of Simulation, p. 55-81, 1998.

WINSTON, W. L. **Operations research: applications and algorithms**. Belmont: Duxbury Press, 1994.

ANEXO A – Estrutura de árvore do modelo computacional



ANEXO B – Planilha de cálculo das chegadas rodoviárias

	A	B	C	D	E	O	R	U
1	Fator 600	Fator 1M	Fator 1,4M	Fator 600 - 24hs	CM Caminhão			
2	1,0028	1,0069	1,0105	1,0304	35,9366485			
3						600.000	1.000.000	1.400.000
4	Dia	Hora	Dia da Semana	Numero Horas deste dia	Mês	Quantity	Quantity	Quantity
5	01/04/2017	0	6	15	4	0	0	0
6	01/04/2017	1	6	15	4	0	0	0
7	01/04/2017	2	6	15	4	0	0	0
8	01/04/2017	3	6	15	4	0	0	0
9	01/04/2017	4	6	15	4	0	0	0
10	01/04/2017	5	6	15	4	0	0	0
11	01/04/2017	6	6	15	4	0	0	0
12	01/04/2017	7	6	15	4	4	6	9
13	01/04/2017	8	6	15	4	4	6	9
14	01/04/2017	9	6	15	4	4	6	8
15	01/04/2017	10	6	15	4	4	6	8
16	01/04/2017	11	6	15	4	3	4	6
17	01/04/2017	12	6	15	4	3	4	6
18	01/04/2017	13	6	15	4	4	6	9
19	01/04/2017	14	6	15	4	4	6	9
20	01/04/2017	15	6	15	4	3	6	8
21	01/04/2017	16	6	15	4	4	6	9
22	01/04/2017	17	6	15	4	4	6	9
23	01/04/2017	18	6	15	4	3	5	8
24	01/04/2017	19	6	15	4	3	5	7
25	01/04/2017	20	6	15	4	3	6	8
26	01/04/2017	21	6	15	4	3	5	7
27	01/04/2017	22	6	15	4	0	0	0
28	01/04/2017	23	6	15	4	0	0	0

ANEXO C – Planilha de cálculo das chegadas ferroviárias

Dia	Mês	Run Time	%	Nº Horas Mês	600.000			1.000.000			1.400.000		
					Nº	Intervalo	Dist	Nº	Intervalo	Dist	Nº	Intervalo	Dist
01/04/2017	abr	0	0,086	720	7	6171	triangular(5554, 6789, 6171)	12	3600	triangular(3240, 3960, 3600)	17	2541	triangular(2287, 2795, 2541)
01/05/2017	mai	43200	0,106	744	9	4960	triangular(4464, 5456, 4960)	15	2976	triangular(2678, 3274, 2976)	21	2126	triangular(1913, 2338, 2126)
01/06/2017	jun	87840	0,116	720	10	4320	triangular(3888, 4752, 4320)	16	2700	triangular(2430, 2970, 2700)	23	1878	triangular(1690, 2066, 1878)
01/07/2017	jul	131040	0,086	744	7	6377	triangular(5739, 7015, 6377)	12	3720	triangular(3348, 4092, 3720)	17	2626	triangular(2363, 2888, 2626)
01/08/2017	ago	175680	0,085	744	7	6377	triangular(5739, 7015, 6377)	12	3720	triangular(3348, 4092, 3720)	17	2626	triangular(2363, 2888, 2626)
01/09/2017	set	220320	0,082	720	7	6171	triangular(5554, 6789, 6171)	11	3927	triangular(3535, 4320, 3927)	16	2700	triangular(2430, 2970, 2700)
01/10/2017	out	263520	0,084	744	7	6377	triangular(5739, 7015, 6377)	12	3720	triangular(3348, 4092, 3720)	16	2790	triangular(2511, 3069, 2790)
01/11/2017	nov	308160	0,070	720	6	7200	triangular(6480, 7920, 7200)	10	4320	triangular(3888, 4752, 4320)	14	3086	triangular(2777, 3394, 3086)
01/12/2017	dez	351360	0,097	744	8	5580	triangular(5022, 6138, 5580)	14	3189	triangular(2870, 3507, 3189)	19	2349	triangular(2115, 2584, 2349)
01/01/2018	jan	396000	0,074	744	6	7440	triangular(6696, 8184, 7440)	10	4464	triangular(4018, 4910, 4464)	14	3189	triangular(2870, 3507, 3189)
01/02/2018	fev	440640	0,057	672	5	8064	triangular(7258, 8870, 8064)	8	5040	triangular(4536, 5544, 5040)	11	3665	triangular(3299, 4032, 3665)
01/03/2018	mar	480960	0,056	744	5	8928	triangular(8035, 9821, 8928)	8	5580	triangular(5022, 6138, 5580)	11	4058	triangular(3652, 4464, 4058)

ANEXO D – Premissas e indicadores da Análise Econômica

Demanda Inicial		709.838
Crescimento da demanda		7%
Preço do açúcar (cents/pound)		0,22
Preço do açúcar (R\$/tonelada)	R\$	485,02
% LL sobre RT		0,50%
Taxa de desconto		8,00%
Capacidade 0		600.000
Capacidade 1		1.000.000
Capacidade 2		1.400.000
Investimento 0		-
Investimento 1		2.045.313
Investimento 2		3.404.688
Data do investimento		1
1 - Ano 0		
2 - Quando necessário		
Número de Anos		10
VPL - 0		11.218.570
VPL - 1		14.636.907
VPL - 2		14.678.177
VPL Relativo 1-0		3.418.337
VPL Relativo 2-0		3.459.607
Payback - cenário 1		3,780165099
Payback - cenário 2		5,811461405
TIR 1		34,85%
TIR 2		22,91%

ANEXO E – Planilha do Fluxo de Caixa

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Ano 0 - Safra 17 - 18	Ano 1 - Safra 18 - 19	Ano 2 - Safra 19 - 20	Ano 3 - Safra 20 - 21	Ano 4 - Safra 21 - 22	Ano 5 - Safra 22 - 23	Ano 6 - Safra 23 - 24	Ano 7 - Safra 24 - 25	Ano 8 - Safra 25 - 26	Ano 9 - Safra 26 - 27	Ano 10 - Safra 27 - 28
Demanda	709.838	759.527	812.694	869.582	930.453	995.585	1.065.275	1.139.845	1.219.634	1.305.008	1.396.359
Quantidade - Cenário 0	600.000	600.000	600.000	600.000	600.000	600.000	600.000	600.000	600.000	600.000	600.000
Quantidade - Cenário 1	709.838	759.527	812.694	869.582	930.453	995.585	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000
Quantidade - Cenário 2	709.838	759.527	812.694	869.582	930.453	995.585	1.065.275	1.139.845	1.219.634	1.305.008	1.396.359
Receita - Cenário 0	291.010.423	291.010.423	291.010.423	291.010.423	291.010.423	291.010.423	291.010.423	291.010.423	291.010.423	291.010.423	291.010.423
Receita - Cenário 1	344.283.762	368.383.625	394.170.479	421.762.412	451.285.781	482.875.786	485.017.372	485.017.372	485.017.372	485.017.372	485.017.372
Receita - Cenário 2	344.283.762	368.383.625	394.170.479	421.762.412	451.285.781	482.875.786	516.677.091	552.844.487	591.543.601	632.951.653	677.258.269
Investimento - Cenário 0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Investimento - Cenário 1	2.045.313	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Investimento - Cenário 2	3.404.688	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FC - Cenário 0	1.455.052	1.455.052	1.455.052	1.455.052	1.455.052	1.455.052	1.455.052	1.455.052	1.455.052	1.455.052	1.455.052
FC - Cenário 1	- 323.894	1.841.918	1.970.852	2.108.812	2.256.429	2.414.379	2.425.087	2.425.087	2.425.087	2.425.087	2.425.087
FC - Cenário 2	- 1.683.269	1.841.918	1.970.852	2.108.812	2.256.429	2.414.379	2.583.385	2.764.222	2.957.718	3.164.758	3.386.291
FC Ac - Cenário 0	1.455.052	2.910.104	4.365.156	5.820.208	7.275.261	8.730.313	10.185.365	11.640.417	13.095.469	14.550.521	16.005.573
FC Ac - Cenário 1	- 323.894	1.518.024	3.488.877	5.597.689	7.854.118	10.268.497	12.693.584	15.118.670	17.543.757	19.968.844	22.393.931
FC Ac - Cenário 2	- 1.683.269	158.649	2.129.502	4.238.314	6.494.743	8.909.122	11.492.507	14.256.730	17.214.448	20.379.206	23.765.497
FC Descontado - Cenário 0	1.455.052	1.347.270	1.247.473	1.155.067	1.069.507	990.284	916.930	849.009	786.119	727.888	673.971
FC Descontado - Cenário 1	- 323.894	1.705.480	1.689.688	1.674.043	1.658.543	1.643.186	1.528.216	1.415.015	1.310.199	1.213.147	1.123.284
FC Descontado - Cenário 2	- 1.683.269	1.705.480	1.689.688	1.674.043	1.658.543	1.643.186	1.627.971	1.612.897	1.597.963	1.583.167	1.568.508
FCD Ac - Cenário 0	1.455.052	2.802.323	4.049.795	5.204.863	6.274.369	7.264.653	8.181.583	9.030.592	9.816.711	10.544.600	11.218.570
FCD Ac - Cenário 1	- 323.894	1.381.586	3.071.274	4.745.317	6.403.860	8.047.046	9.575.262	10.990.277	12.300.476	13.513.623	14.636.907
FCD Ac - Cenário 2	- 1.683.269	22.211	1.711.899	3.385.942	5.044.485	6.687.671	8.315.642	9.928.539	11.526.502	13.109.669	14.678.177
Diferença FC 1-0	- 1.778.946	386.866	515.800	653.760	801.377	959.327	970.035	970.035	970.035	970.035	970.035
Diferença FCD 1-0	- 1.778.946	358.209	442.216	518.976	589.036	652.902	611.286	566.006	524.080	485.259	449.314
Diferença FCD Ac. 1-0	- 1.778.946	- 1.420.737	- 978.521	- 459.545	129.491	782.392	1.393.679	1.959.685	2.483.764	2.969.023	3.418.337
n/m		n/m	n/m	n/m	0,780165099	0,198330988	1,279911194	2,46230409	3,739288417	5,11843149	6,607906009
Diferença FC 2-0	- 3.138.321	386.866	515.800	653.760	801.377	959.327	1.128.333	1.309.170	1.502.666	1.709.706	1.931.239
Diferença FCD 2-0	- 3.138.321	358.209	442.216	518.976	589.036	652.902	711.041	763.888	811.844	855.279	894.537
Diferença FCD Ac. 2-0	- 3.138.321	- 2.780.112	- 2.337.896	- 1.818.920	- 1.229.884	- 576.983	134.059	897.947	1.709.791	2.565.069	3.459.607
n/m		n/m	n/m	n/m	n/m	n/m	0,811461405	0,17549522	1,106059131	1,999103457	2,867481352