

3. Estudo de caso

O estudo de caso será feito na Libra Terminais unidade Rio de Janeiro, empresa da qual o autor deste trabalho fez parte durante quase três anos e pode conhecer profundamente as características de um terminal de contêiner.

“A Libra Terminais, uma das líderes de mercado em operações portuárias de contêineres no Brasil, é uma das unidades de negócios do Grupo Libra. Formada por Libra Terminais Santos, Libra Terminais Rio e Libra Terminais Imbituba, terminal em construção no Sul de Santa Catarina. Atuando nos dois principais portos do Brasil, Santos e Rio de Janeiro, responde por 15% do total de contêineres embarcados e desembarcados no país.”

(<http://www.grupolibra.com.br/terminais.html> acessado em 10 de outubro de 2011)

A Libra tem a visão de crescer seu valor 10 vezes em 5 anos, o que diante da concorrência a obriga a ter um foco maior no cliente e a elevar o patamar do nível de serviço oferecido, proporcionando cada vez mais vantagens, rapidez e flexibilidade na execução dos serviços.

A Libra terminais unidade Rio de Janeiro, localizada no terminal 1 do porto do Rio de Janeiro, tem as seguintes características operacionais:

- primeiro cais de atracação para os navios de contêiner dentro do porto do Rio de Janeiro;
- uma área de 136.272 m² (Figura 10);
- 12 reach stackers (empilhadeiras de retro área);
- 28 carretas,
- armazém de 8.890 m² para vistoria aduaneira e armazenagem de cargas desconsolidadas;
- cais de 525 metros com dois berços de atracação;
- 5 portêineres (guindastes de cais);



Figura 10: Vista superior do terminal 1 do porto do Rio De Janeiro

3.1. Projeção da demanda de contêineres da Libra Terminais Rio de Janeiro

A empresa Libra Terminais, segunda maior movimentadora de contêineres no Brasil, a fim de estruturar os seus projetos de expansão previstos para a unidade Rio de Janeiro elaborou uma previsão de demanda para o estado do Rio de Janeiro que será utilizada como premissa para este estudo, assim como os resultados encontrados. Não serão apresentados detalhes deste estudo de demanda neste trabalho, apenas uma idéia geral a fim de contextualizar a demanda prevista.

A metodologia utilizada tem como base uma correlação entre a movimentação de contêineres, comercio exterior e PIB. Para projetar a participação do Rio de Janeiro na movimentação de contêineres, foi mantido o percentual atual do estado de 10,12% dos contêineres movimentados no país. Na

Figura 11 que apresenta o percentual da participação de cada estado na movimentação de contêineres nos portos brasileiros.

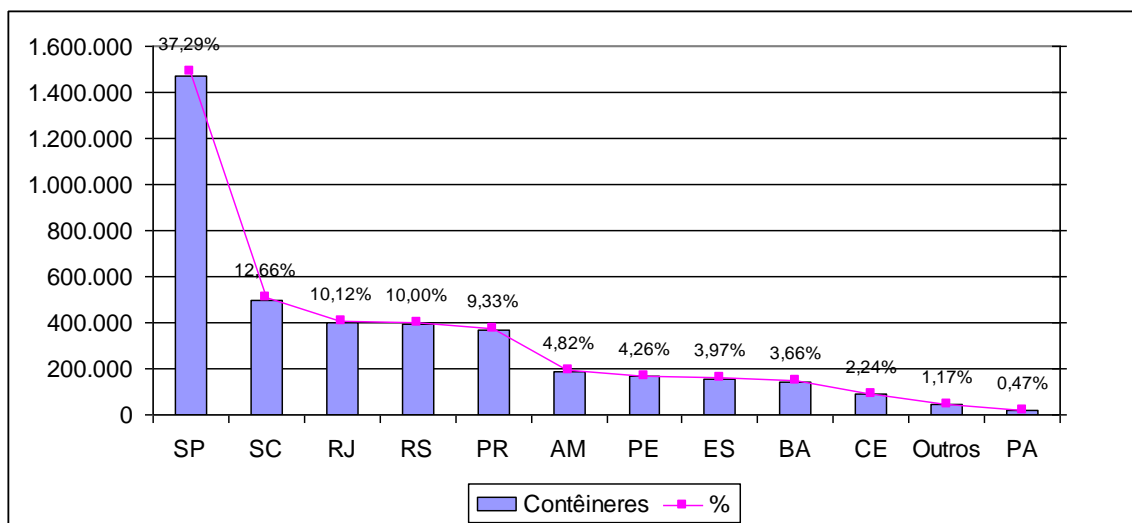


Figura 11: Participação dos estados na movimentação de contêineres nos portos brasileiros

O estado do Rio de Janeiro conta com três terminais de contêineres concorrendo pelo seu mercado, Libra Terminais, MultiRio e Sepetiba TECON. Desde 2006 quando Sepetiba se consolidou no cenário com escalas regulares, o mercado apresenta uma divisão similar para estes três terminais, com 38% para Sepetiba, 32% para a Libra Terminais) e 30% para a MultiRio. Esta acomodação da divisão das cargas movimentadas se atribui basicamente a similaridade das características estruturais dos terminais como dimensionamentos de retro área e cais. De acordo com as informações que existem no mercado, as três empresas desenvolvem projetos que quando concluídos irão manter o equilíbrio estrutural original entre as três plantas. Dado isto, a demanda foi projetada mantendo este cenário.

Assim, na Tabela 6 se chegou à projeção de contêineres movimentados pela Libra Terminais unidade Rio de Janeiro para os próximos 37 anos. Alcançando ao total de mais de um milhão de unidades.

Tabela 6: Projeção de contêineres da libra terminais

| Anos | Contêineres |
|------|-------------|
| 2010 | 150.543 |
| 2011 | 169.434 |
| 2012 | 187.452 |
| 2013 | 193.321 |
| 2014 | 210.103 |
| 2015 | 212.081 |
| 2016 | 226.910 |
| 2017 | 242.776 |
| 2018 | 259.751 |
| 2019 | 277.913 |
| 2020 | 297.345 |
| 2021 | 318.136 |
| 2022 | 337.108 |
| 2023 | 357.210 |
| 2024 | 378.512 |
| 2025 | 401.084 |
| 2026 | 420.709 |
| 2027 | 441.294 |
| 2028 | 462.886 |
| 2029 | 485.535 |
| 2030 | 509.292 |
| 2031 | 534.211 |
| 2032 | 560.350 |
| 2033 | 587.767 |
| 2034 | 616.526 |
| 2035 | 646.692 |
| 2036 | 672.754 |
| 2037 | 699.866 |
| 2038 | 728.071 |
| 2039 | 757.412 |
| 2040 | 787.936 |
| 2041 | 819.690 |
| 2042 | 848.584 |
| 2043 | 878.496 |
| 2044 | 909.463 |
| 2045 | 941.522 |
| 2046 | 974.710 |
| 2047 | 1.009.069 |
| 2048 | 1.044.639 |

A Figura 12 demonstra graficamente a evolução da demanda dos três terminais do estado do Rio e Janeiro mantendo o percentual da divisão de mercado atual.

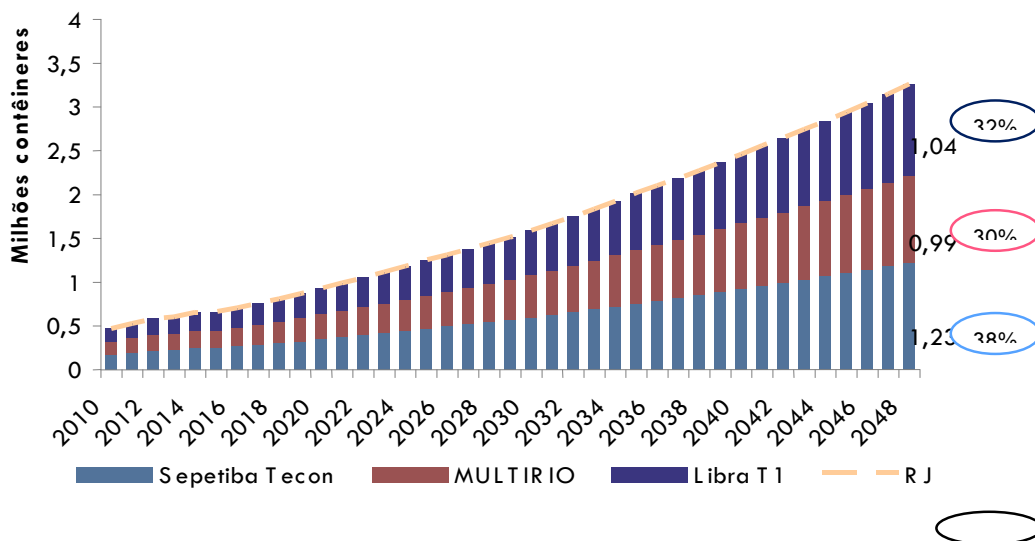


Figura 12: Projeção de demanda para os portos Fluminenses e market share dos terminais
Fonte: Libra Termianais

3.2. Estrutura de acesso e saída do terminal

A Libra localiza-se num dos extremos do porto do Rio de Janeiro, ficando restrita a apenas um ponto de acesso, o que limita o seu espaço de entrada e saída de veículos.

O espaço destinado à fila de acesso, oficializado pela Companhia Docas do Rio de Janeiro, se estende conforme demonstrado na Figura 13. Este espaço enfrenta duas principais situações de conflito entre os interesses do terminal e os interesses da comunidade do porto. A Figura 13 projeta a fila da Libra que se estende pelo muro do terminal vizinho e cruza a principal via rodoviária do porto que liga todos os terminais com as ruas externas. Ocorre naturalmente então um conflito entre os veículos de passagem pelo local e os veículos que aguardam na fila para entrar no terminal.



Figura 13: Vista superior da fila de carretas do terminal 1 do porto do Rio de Janeiro

Após o cruzamento, a fila ocupa o mesmo espaço destinado à via ferroviária do porto e que, apesar de não ser muito utilizada, precisa ficar isolada quando há a passagem de trens. Esta situação é demonstrada na Figura 14.



Figura 14: Espaço destinado a fila de carretas e a passagem da linha férrea

Outra estrutura utilizada para acesso ao terminal é demonstrada na Figura 16, além do espaço da fila, é o estacionamento localizado embaixo da ponte que corta o porto. A Figura 15 referencia o estacionamento dentro da área portuária. Este espaço é utilizado pelas carretas que aguardam ingresso no terminal. Por vezes o estacionamento tem sua capacidade atingida, então as carretas buscam

outro espaço no porto para aguardarem, local este que na maioria das vezes não é apropriado para estacionamento.



Figura 15: Vista superior do estacionamento do porto do Rio de Janeiro.



Figura 16: Estacionamento do porto do Rio de Janeiro

A entrada das carretas é realizada nos postos de atendimento que são cabines, usualmente chamadas de *Gate*, demonstrados na Figura 17. Duas destas estão localizadas no ponto de acesso ao terminal e outra no interior do mesmo. Esta cabine no interior é uma alternativa utilizada para expandir a capacidade de processamento da entrada de carretas, realizando o processamento de carretas vazias no interior do terminal. Contudo sua função original é a de realizar atividades de movimentação interna de contêineres e por isto este recurso nem sempre possui capacidade suficiente para executar estas duas atividades simultaneamente. Esta situação configura um risco de segurança, ainda que monitorado, devido à entrada de carretas sem registro até o processamento na cabine no interior do terminal.



Figura 17: Estrutura de gate

Fonte: www.terminalrio.com.br acessado em 20/09/2011

A saída das carretas é processada por duas cabines idênticas às localizadas na via paralela de acesso. A Figura 18 demonstra a localização dos *Gates* dentro da área do terminal.

Todas as cabines são equipadas com balanças rodoviárias e registro em tempo real das operações realizadas.

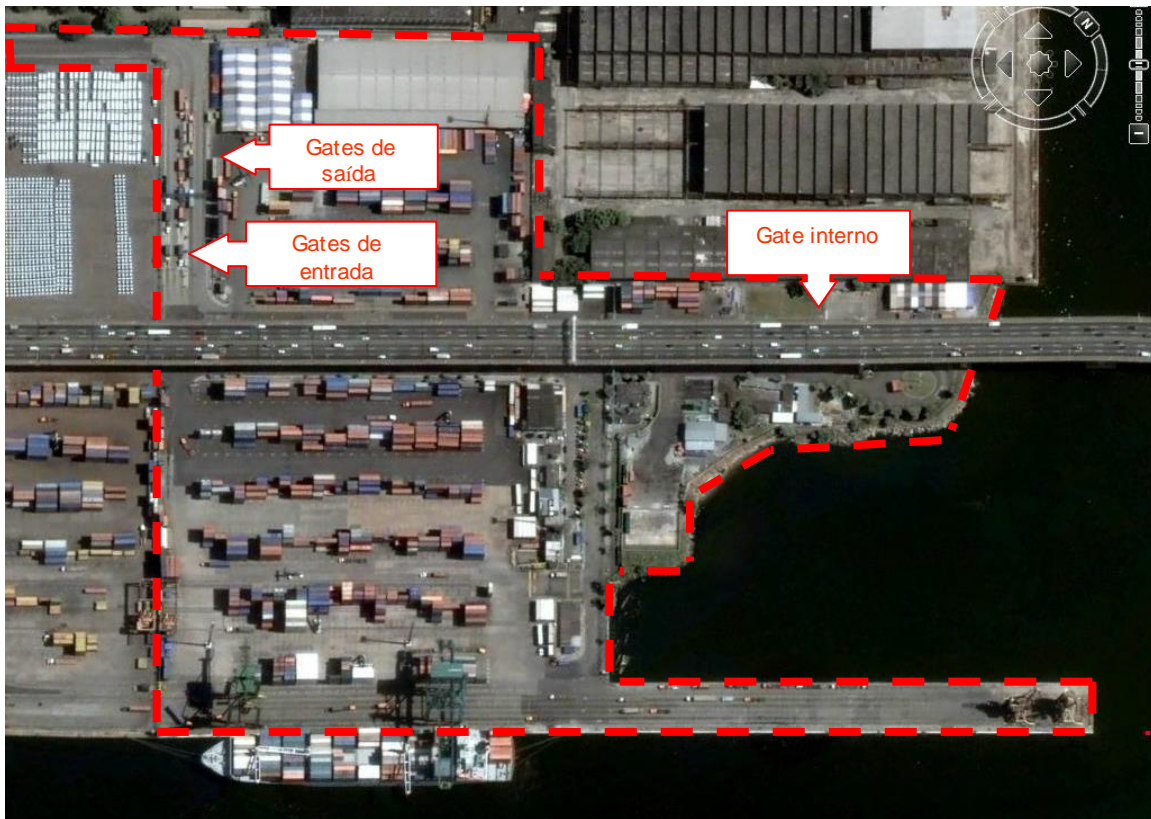


Figura 18: Localização dos gates do terminal 1

Pelos motivos mostrados, o dimensionamento futuro dos *Gates*, deverá evitar os seguintes pontos:

- cruzamento da fila com a principal via do porto
- utilização pela fila do espaço destinado a ferrovia
- utilizar o Gate interno
- ultrapassar a capacidade do estacionamento

3.3. O processo de chegada do modal rodoviário

Existem dois processos diretamente relacionados às estruturas de *Gate*, que são a entrega de contêineres e o recebimento dos mesmos.

Recebimento

O processo de Recebimento tem como fim receber os contêineres que serão armazenados no terminal predominantemente no intuito de serem embarcados. Para receber contêineres no terminal é preciso que estes estejam registrados previamente no sistema de agendamento. Neste sistema são feitas todas as validações documentais do contêiner e da carreta a serem recebidos, deixando apenas as validações físicas para o momento em que a carreta está presente na fila do terminal juntamente com o contêiner. Este sistema cumpre também a importante função de equilibrar a chegada de clientes no sistema de filas uma vez que especifica um intervalo de uma hora para a chegada da carreta e limita a quantidade de veículos em cada intervalo. A Tabela 7 apresenta os horários e limites de veículos por período.

Tabela 7: Horários e capacidades do agendamento de exportação

| Janelas de Exportação (seg-sex) | | |
|---------------------------------|-------|------------|
| Início | Fim | Quantidade |
| 07:00 | 08:00 | 25 |
| 08:00 | 09:00 | 42 |
| 09:00 | 10:00 | 40 |
| 10:00 | 11:00 | 40 |
| 11:00 | 12:00 | 45 |
| 12:00 | 13:00 | 40 |
| 13:00 | 14:00 | 40 |
| 14:00 | 15:00 | 45 |
| 15:00 | 16:00 | 45 |
| 16:00 | 17:00 | 45 |
| 17:00 | 18:00 | 35 |
| 18:00 | 19:00 | 35 |
| 19:00 | 20:00 | 35 |
| 20:00 | 21:00 | 35 |

Após o agendamento, a carreta está apta a vir até o terminal e entrar na fila de recebimento. Enquanto a carreta está na fila são realizadas as validações físicas como número do contêiner, placa da carreta, motorista entre outros. Com todos os itens dentro das exigências o veículo aguarda na fila até ser atendido dentro de um sistema que pode ser caracterizado como FIFO. Caso este contêiner esteja

registrado como vazio, ainda é realizada uma checagem no interior do mesmo afim de confirmar o estado citado e após isto o mesmo é lacrado. No posto de atendimento, a cabine do *Gate*, são recebidas as documentações do contêiner, impressos os recibos de transferência de responsabilidade, registrada a entrada do veículo e determinada a futura localização do armazenamento.

Etapa importante ao se realizar o atendimento da carreta é o planejamento da carga no pátio. Este planejamento deve ser realizado de maneira a reduzir o número de remoções para se embarcar os contêineres no navio. Para isto, é feito uma previsão de como o navio será carregado e assim os contêineres são agrupados no pátio. Quando o pátio está com menos ocupação há espaço disponível para armazenamento de mais grupos, deixando a carga bem distribuída pelo pátio, e facilitando o carregamento dos navios. Numa condição mais densa para um pátio com alta taxa de ocupação, o espaço para este tipo de agrupamento é menor. Um exemplo prático são as faixas de peso utilizadas para se agrupar os contêineres. Para um pátio com baixa ocupação pode se aplicar faixas de 0 a 23 toneladas, de 23 a 26 toneladas e maiores que 26 toneladas. Em uma condição de pátio cheio, utiliza se uma faixa única agrupando todos os contêineres num mesmo local para posterior remoção e embarque distribuído pelo navio.

A decisão das faixas a serem utilizadas irá depender de uma série de fatores, que alteram constantemente e a decisão só poderá ser tomada no momento do recebimento da carga. Após determinada a localização futura de armazenamento o ticket de recebimento é impresso e entregue ao motorista que segue ate o pátio de armazenamento, finalizando o atendimento rodoviário para o recebimento de contêineres. O processo anterior é representado no fluxograma da Figura 19.

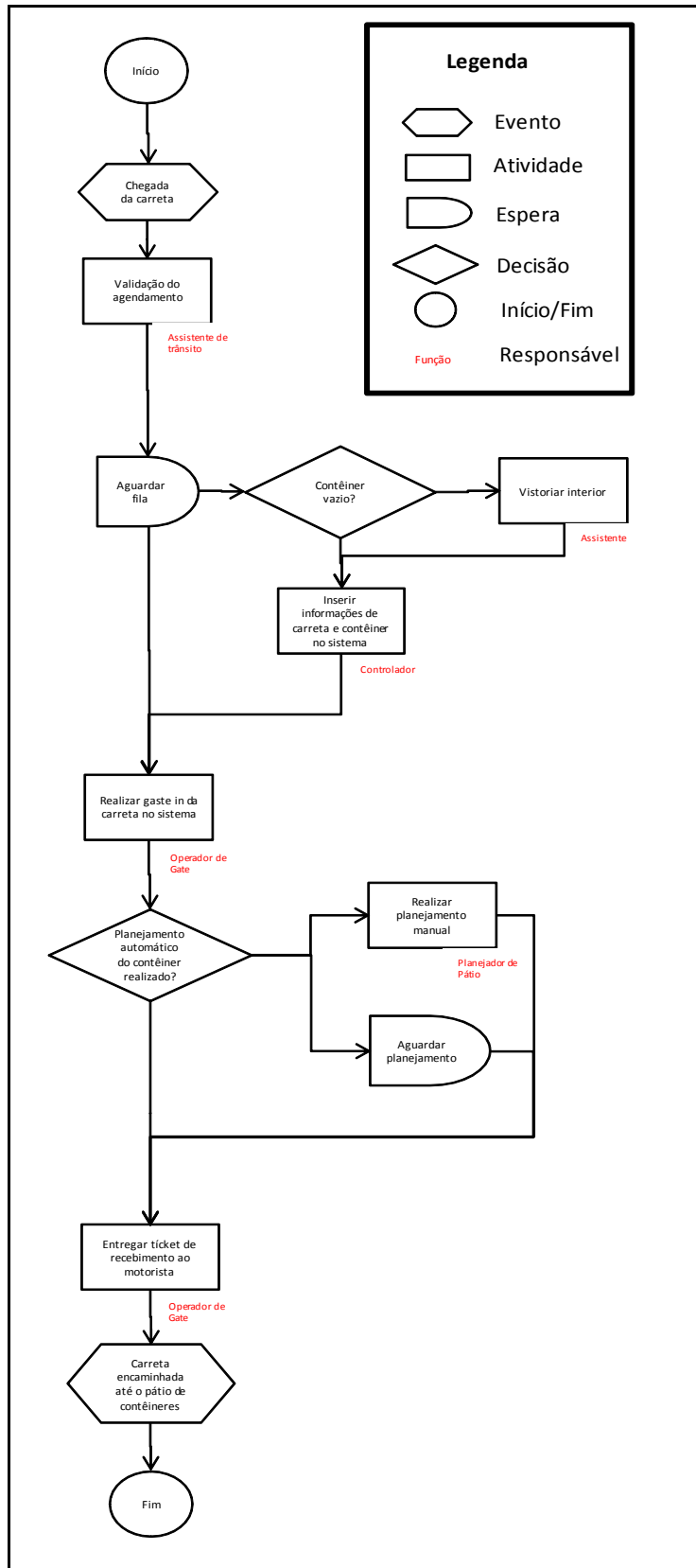


Figura 19: Fluxograma do processo de recebimento

Utilizando a ferramenta *Input Analyser* do software *Arena* foi realizado o teste de aderência Qui Quadrado para a chegada de clientes com a distribuição de Poisson. O resultado deste teste, mostrado na Figura 20, apresenta um erro não significativo entre a distribuição de Poisson e a amostra analisada, p-value menor que 0,005 conforme indicado no resultado do software de onde se conclui a existência da igualdade estatística entre os valores esperados e os observados.

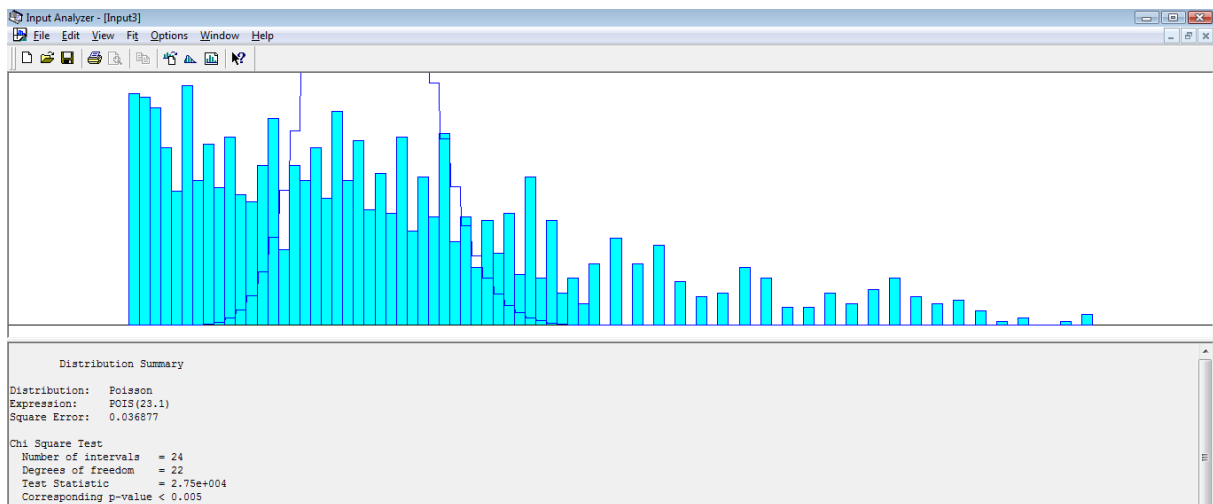


Figura 20: Teste de aderência para a taxa de chegada de clientes do processo de recebimento

Para a distribuição do tempo de atendimento, o número da amostra é pequeno para que o teste de aderência fosse realizado. Conforme Moreira (2007) é comum a utilização da distribuição de Poisson para a taxa de atendimento, e também, esta distribuição é a utilizada em toda a bibliografia encontrada.

O processo de Recebimento será caracterizado como um caso particular do modelo M/M/C/K/FIFO, com 2 postos de atendimento, $C = 2$, e uma limitação natural da quantidade máxima de clientes designada pelo agendamento. Diferente do caso comum em que o limitador natural é físico e impede que uma fila cresça mesmo com a chegada infinita de novos clientes. Neste caso particular, a taxa de chegada λ não difere da taxa de ingresso no sistema e sua população finita é determinada no agendamento que é um limitador natural do sistema. Assim sendo, a taxa de ingresso no sistema será representado por M^* e pode-se aplicar o

modelo $M/M/C/\infty/FIFO$ reduzindo se o universo de chegadas de infinito para K , aplicando um caso particular do modelo. Será considerado o caso de maior capacidade do agendamento onde $K = 45$ e a possibilidade de chegada de clientes é a maior, portanto o dimensionamento do sistema nestas condições será capaz de atender o desempenho exigido em todos os horários de agendamento. Daí tem se o processo de Recebimento caracterizado como $M^*/M/2/45/FIFO$.

Entrega

Já o processo de Entrega, tem como fim entregar aos transportadores, representantes do cliente final, os contêineres que estão armazenados e liberados de todas as exigências documentais e financeiras.

Assim como o processo de Recebimento, é necessário um agendamento prévio para que se inicie o processo de Entrega. Na Tabela 8 tem-se a quantidade máxima de agendamentos por período.

Tabela 8: Horários e capacidades do agendamento de importação

| Janelas de Importação (seg-sex) | | |
|---------------------------------|-------|------------|
| Início | Fim | Quantidade |
| 07:00 | 08:30 | 30 |
| 09:00 | 10:30 | 35 |
| 11:00 | 12:30 | 35 |
| 13:00 | 14:30 | 48 |
| 15:00 | 16:30 | 45 |
| 17:00 | 18:30 | 0 |
| 19:00 | 20:30 | 0 |
| 21:00 | 22:30 | 0 |

Ao chegarem ao sistema, as carretas utilizam o estacionamento do porto e identificam se para registro de chegada no posto de Pré Gate. Este estacionamento tem a capacidade de receber 25 carretas. Chegando ao porto a carreta estaciona e realiza o cadastro de chegada no posto, formando uma fila virtual. Esta fila, também obedece à regra de primeiro a chegar, primeiro a sair.

Assim quando o posto de atendimento, o *Gate*, está livre para receber o cliente, o motorista é avisado pelo funcionário da *Libra* e segue para o *Gate*. Na cabine do *Gate* a entrada do veículo é registrada e a localização dos contêineres a serem entregues é passada ao motorista que segue para o endereço. O processo de entrega é representado no fluxograma da Figura 21.

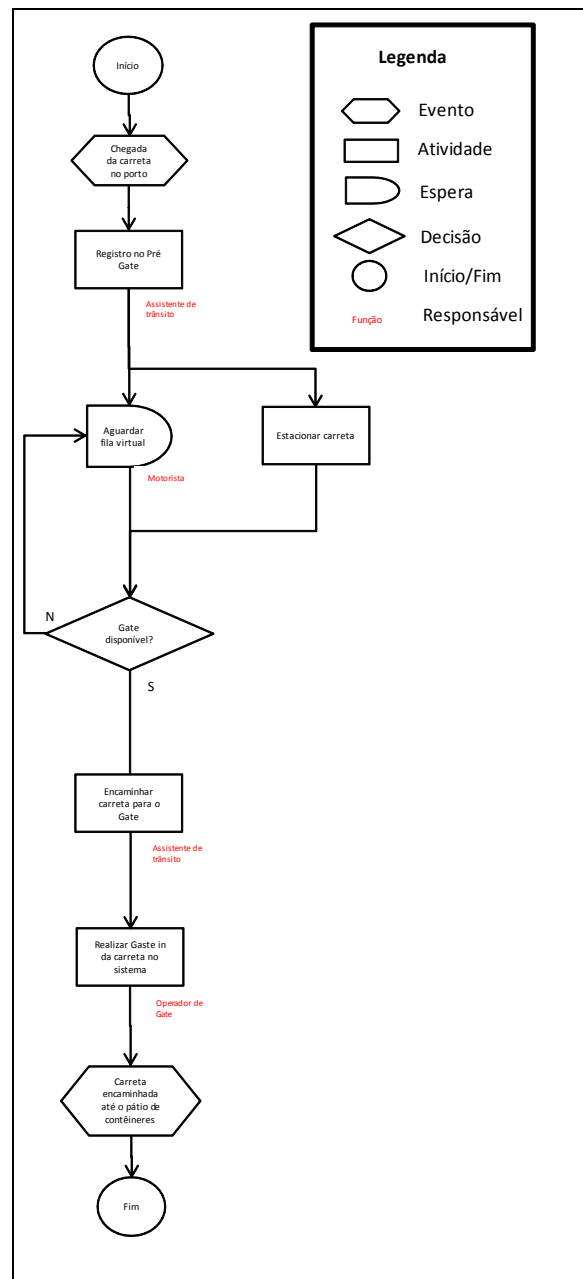


Figura 21: Fluxograma do processo de entrega

Utilizando a ferramenta *Input Analyser* do software *Arena* foi realizado o teste de aderência Qui Quadrado para a chegada de clientes com a distribuição de Poisson. O resultado deste teste demonstrado na Figura 22, apresenta um erro não significativo entre a distribuição de Poisson e a amostra analisada, p-value menor que 0,005 conforme indicado no resultado do software de onde se conclui a existência da igualdade estatística entre os valores esperados e os observados.

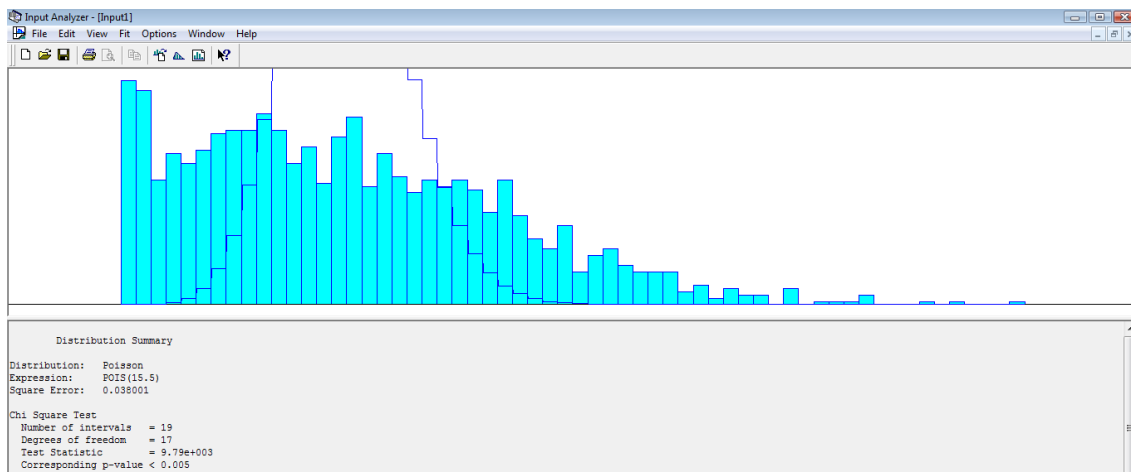


Figura 22: Teste de aderência para a taxa de chegada de clientes do processo de entrega

Também no processo de Entrega, o número da amostra para teste da distribuição do tempo de atendimento é pequeno. E novamente citando Moreira (2007), é comum a utilização da distribuição de Poisson para a taxa de atendimento, e também, esta distribuição é a utilizada em toda a bibliografia encontrada.

O processo de Entrega deve ser caracterizado como um caso particular do modelo M/M/1/K/FIFO, com uma limitação natural da quantidade máxima de clientes designada pelo agendamento. Neste caso particular, a taxa de chegada λ também não difere da taxa de ingresso no sistema e sua população finita é determinada no agendamento que é um limitador natural do sistema. Assim pode-se aplicar o modelo M/M/1/ ∞ /FIFO e reduzir o universo de chegadas de infinito para K, aplicando um caso particular do modelo. Será considerado o caso de maior capacidade do agendamento onde $K = 48$ e a possibilidade de chegada de clientes é a maior, portanto o dimensionamento do sistema nestas condições será

capaz de atender o desempenho exigido em todos os horários de agendamento. Daí, tem-se o processo de Entrega caracterizado como $M^*/M/1/48/FIFO$.

3.4. Metodologia

Primeiramente neste estudo serão apresentadas as medidas de desempenho exigidas para o sistema. Logo após, serão estabelecidas as características do estado atual com base na teoria das filas e identificada a divergência entre o nível de serviço existente e o exigido para cada fila de *Gate in* do terminal. Na terceira etapa será projetada uma nova taxa de atendimento para os próximos anos decorrente da melhoria esperada de processos e recursos previstos no terminal Libra do Rio de Janeiro. Com esta projeção será possível determinar uma nova taxa de atendimento, e com a previsão de demanda será possível determinar a nova taxa de chegada de clientes. De posse destes dados será realizado o cálculo do nível de serviço para os próximos anos.

3.5. Medidas de desempenho exigidas

As características exigidas para os sistemas de Recebimento e Entrega serão estabelecidas de acordo com o nível de serviço exigido pela diretoria do terminal, ou de maneira a evitar dificuldades enfrentadas hoje devido a diversos fatores citados anteriormente neste texto.

Para o processo completo de Recebimento, da chegada do cliente até a sua saída do terminal, chamado de *Truck Cycle de Exportação*, foi determinada pela diretoria da Libra Terminais a meta de 30 minutos por cliente. Uma vez que o presente estudo se limita a primeira etapa deste processo, da chegada do cliente até a conclusão do processamento da entrada no *Gate in*, será considerado como meta a relação entre o histórico realizado na etapa estudada e a meta definida pela Libra. Historicamente 42% do tempo total do *Truck Cycle* é gasto na etapa analisada. Assumindo esta proporção para a meta, tem-se a medida exigida de 12,56 minutos.

Será também limitado um intervalo de confiança de 95% para que a fila não ultrapasse o ponto de cruzamento com a principal via do porto e conseqüentemente evitar a sobreposição da fila com a via férrea, ou seja, um limite de 15 carretas aguardando para serem atendidas e um valor de no máximo 5% para a probabilidade de haver mais 15 clientes na fila. A Tabela 9 resume as medidas exigidas para o processo de Recebimento.

Tabela 9: Desempenho exigido para o processo de recebimento

| | |
|-----------|----------------------|
| $P(n>15)$ | $< 5\%$ |
| W | $\leq 12,56$ minutos |

Para o processo de Entrega, onde as carretas chegam vazias para retirar os contêineres do terminal, a meta estipulada para o *Truck Cycle* de Importação é de 70 minutos. Porém não é possível determinar um valor para a parcela de tempo gasta historicamente na fila, sendo satisfatório então que o tempo de fila seja pelo menos menor que a meta de 70 minutos.

O espaço destinado ao estacionamento de carretas para entrega é limitado a 25 vagas, então é de interesse que não haja mais de 25 carretas aguardando. Para uma confiança de 95%, a probabilidade de hajam mais de 25 carretas na fila, $P(n>k)$ onde $k = 25$, deve ser menor que 5%. A Tabela 10 resume as medidas exigidas para o processo de Recebimento.

Tabela 10: Desempenho exigido para o processo de entrega

| | |
|-----------|-------------------|
| $P(n>25)$ | $< 5\%$ |
| W | ≤ 70 minutos |

3.6.

Estado atual

Nesta seção serão estabelecidas as medidas do desempenho atual dos sistemas de entrada no terminal para os processos de Recebimento e Entrega. Assim, será possível determinar o desvio entre o desempenho atual e o exigido. Além disso, também poderão ser determinados os efeitos resultantes da implantação de novas tecnologias e alterações no processo.

Recebimento

A amostra analisada é referente ao primeiro semestre de 2011, onde a média de contêineres recebidos é de 30,99 carretas por hora que é o período de uma janela para atendimento das carretas de recebimento. O tempo médio para o registro dos dados de carreta e contêiner no sistema pelo operador de *Gate in*, é de 3 minutos e 6 segundos (3,1 min). Porém uma parte do atendimento deste posto é o planejamento de contêineres para armazenamento no pátio. Este planejamento que normalmente é realizado automaticamente via sistema, e com tempo desprezível de processamento, tem um percentual de planejamento feito manualmente cujo tempo médio é de 1,4 minutos. Este tempo é monitorado através de relatórios emitidos pelo sistema de planejamento que mede o tempo desde a tentativa frustrada de planejamento pelo sistema até a solução do planejador de pátio. É conveniente dividir este tempo em dois cenários já que este percentual varia consideravelmente no período de alta taxa ocupação do pátio aumentando de 15% para 35% a quantidade de planejamentos realizados manualmente. O coeficiente de correlação entre o tempo de Pré *Gate in*, desde a chegada até o fim do atendimento, e a taxa de ocupação do pátio de contêineres é de 84%. O gráfico da Figura 23 apresenta a evolução do tempo de chegada até o *Gate* e a taxa de ocupação do pátio.

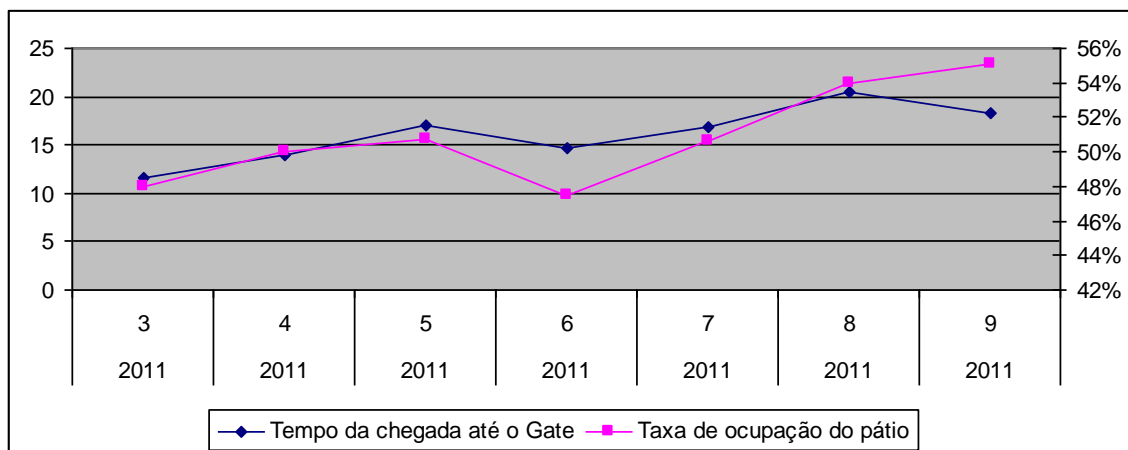


Figura 23: Correlação entre o tempo de fila e a taxa de ocupação do pátio

Esta influencia direta explica-se pelo fato de que o planejamento da carga a ser recebida torna-se mais complexo devido à redução do espaço para distribuição da carga. Realizando o monitoramento dos planejamentos através do sistema de gestão do pátio de contêineres é possível indicar que no período de baixa ocupação de pátio 15% dos endereçamentos dos contêineres são feitos manualmente, diluindo este tempo em todos os contêineres atendidos, o tempo de planejamento é de 0,21 minuto (12,6 segundos) por atendimento, tempo entre a falha de um planejamento automático e o registro de um planejamento manual. E para o período de 35% de taxa de ocupação do pátio de armazenamento, este tempo sobe para 0,49 minuto (29,4 segundos) por atendimento. A composição deste tempo é demonstrada na Tabela 11, e na Tabela 12 o resumo dos tempos que originam as características deste sistema.

Tabela 11: Componentes do tempo de atendimento do processo de recebimento

| | 15% | 35% |
|---|-------|-------|
| GATE IN (min/carreta) | 3,10 | 3,10 |
| PLANEJAMENTO (min/carreta) | 0,21 | 0,49 |
| TEMPO DE ATENDIMENTO (min/carreta) | 3,31 | 3,59 |
| TAXA DE ATENDIMENTO μ (carretas/hora) | 18,13 | 16,71 |

Tabela 12: Valores das grandezas do processo de recebimento no cenário de baixa ocupação de pátio

| Grandezas | Média | Símbolo |
|--|-------|-----------|
| Número de atendimentos na unidade de tempo (taxa de atendimento) | 18,13 | μ |
| Número de chegadas na unidade de tempo (taxa de chegada) | 30,90 | λ |

Os indicadores de desempenho da fila para o cenário de baixa ocupação de pátio, ou seja, 15% de planejamento manual, estão resumidos na Tabela 13. Após, as características serão recalculadas na Tabela 14 a fim de se limitar a fonte de clientes de um universo infinito para um universo limitado pela quantidade de agendamentos possíveis.

Tabela 13: Valores do desempenho atual do processo de recebimento na chegada infinita de clientes no cenário de baixa ocupação do pátio

| <i>M/M/2/∞/FIFO</i> | | | |
|--------------------------|--|--|------|
| r | abreviação de λ/μ | $\frac{\lambda}{\mu}$ | 1,70 |
| ρ | taxa de utilização do servidor | $\frac{\lambda}{c\mu}$ | 85% |
| P(0) | probabilidade de que o sistema esteja ocioso | $(\sum_{n=0}^{c-1} \frac{r^n}{n!} + \frac{r^c}{c!})^{-1} (r/c = \rho < 1)$ $c!(1 - \rho)$ | 8,0% |
| $P(n > k)$ $K = 45$ | Probabilidade de que hajam mais de 45 clientes | $1 - \sum_{n=0}^K P(n)$ | 8,5% |

Tabela 14: Valores do desempenho atual do processo de recebimento na chegada limitada pelo agendamento

| <i>M*/M/2/K/FIFO</i> | | | |
|----------------------------|---|--|-----------------------------|
| $P(0)^*$ | probabilidade de que o sistema esteja ocioso | $\frac{(\sum_{n=0}^{c-1} \frac{r^n}{n!} + \frac{r^c}{c!(1-\rho)})^{-1}}{P(n \leq 45)}$ | 8,7% |
| $P(n > k)^*$ $K = 15$ | probabilidade de que haja mais de 15 clientes na fila | $\frac{1 - \sum_{n=0}^k P(n)}{P(n \leq 45)}$ | 9,1% |
| L_q | número médio de clientes na fila | $\frac{p_0 c r^{c+1}}{c!(c-r)^2}$ | 4,94 |
| L | número médio de clientes no sistema | $r + \left[\frac{r^{c+1} c}{c!(c-r)^2} \right] p_0$ | 6,64 |
| W_q | tempo médio de clientes em espera na fila | $\left[\frac{r^c \mu}{(c-1)(c\mu - \lambda)^2} \right] p_0$ | 0,163 hora = 9,6 minutos |
| W | tempo médio de clientes em espera no sistema | $\frac{1}{\mu} + \left[\frac{r^c \mu}{(c-1)(c\mu - \lambda)^2} \right] p_0$ | 0,21 hora = 12,9 minutos |

Já para o cenário de alta ocupação de pátio, ou seja, 35% de planejamento manual, o resumo dos tempos que originam as características deste sistema está demonstrado na Tabela 15.

Tabela 15: Valores das grandezas do processo de recebimento no cenário de alta ocupação de pátio

| Grandezas | Média | Símbolo |
|--|-------|-----------|
| Número de atendimentos na unidade de tempo (taxa de atendimento) | 16,70 | μ |
| Número de chegadas na unidade de tempo (taxa de chegada) | 31,60 | λ |

Os indicadores de desempenho estão apresentados na Tabela 16. Após isto, as características serão recalculadas na Tabela 17, a fim de limitar a fonte de clientes de um universo infinito para um universo limitado pela quantidade de agendamentos possíveis.

Tabela 16: Valores do desempenho atual do processo de recebimento na chegada infinita de clientes no cenário de alta taxa de ocupação de pátio

| <i>M/M/2/∞/FIFO</i> | | | |
|--------------------------|---|--|------|
| R | abreviação de λ/μ | $\frac{\lambda}{\mu}$ | 1,89 |
| ρ | taxa de utilização do servidor | $\frac{\lambda}{c\mu}$ | 95% |
| P(0) | probabilidade de que o sistema esteja ocioso | $\left(\sum_{n=0}^{c-1} \frac{r^n}{n!} + \frac{r^c}{r^c}\right)^{-1} (r/c = \rho < 1)$ $c!(1 - \rho)$ | 2,8% |
| $P(n > k)$ $K = 45$ | Probabilidade de que haja mais de 45 clientes | $1 - \sum_{n=0}^k P(n)$ | 12% |

Tabela 17: Valores do desempenho atual do processo de recebimento na chegada limitada pelo agendamento

| <i>M*/M/2/K/FIFO</i> | | | |
|----------------------------|---|---|-----------------------------|
| $P(0)^*$ | probabilidade de que o sistema esteja ocioso | $\frac{\left(\sum_{n=0}^{c-1} \frac{r^n}{n!} + \frac{r^c}{c!(1-\rho)}\right)^{-1}}{P(n \leq 45)}$ | 3,2% |
| $P(n > k)^*$ $K = 15$ | probabilidade de que haja mais de 15 clientes na fila | $\frac{1 - \sum_{n=0}^k P(n)}{P(n \geq 45)}$ | 39% |
| L_q | número médio de clientes na fila | $\frac{p_0 c r^{c+1}}{c!(c-r)^2}$ | 18,4 |
| L | número médio de clientes no sistema | $r + \left[\frac{r^{c+1} c}{c!(c-r)^2} \right] p_0$ | 20,3 |
| W_q | tempo médio de clientes em espera na fila | $\left[\frac{r^c \mu}{(c-1)(c\mu - \lambda)^2} \right] p_0$ | 0,58 hora = 35,0 minutos |
| W | tempo médio de clientes em espera no sistema | $\frac{1}{\mu} + \left[\frac{r^c \mu}{(c-1)(c\mu - \lambda)^2} \right] p_0$ | 0,64 hora = 38,6 minutos |

Análise do desempenho atual

Para o cenário de baixa ocupação de pátio, o sistema apresenta boa taxa de utilização dos servidores, de 85%. A probabilidade de ter se mais que 15 carretas na fila é de 8,5%, 3,5% acima do exigido. Já o tempo médio dos clientes dentro do sistema é de 12,90 minutos, praticamente os 12,56 minutos exigidos.

Com pequenas alterações na taxa de chegada de clientes e no tempo de atendimentos dos servidores, o cenário de alta taxa de ocupação de pátio apresenta uma redução considerável no nível de desempenho dos indicadores.

A taxa de utilização do servidor está em 95%, perigosamente perto do limite o que pode causar um colapso no sistema com pequenas variações nas taxas

de atendimento e chegada. A probabilidade de haver mais de 15 clientes na fila é de 39%, valor bem acima dos 5% estabelecidos. E o tempo médio de carretas nos sistema é de 38,13 minutos, mais que o triplo do tempo estabelecido.

Nestas condições é possível apontar que há a necessidade de aumentar a capacidade do sistema para o cenário de alta ocupação de pátio ou reduzir a taxa de chegada de clientes através da quantidade de vagas abertas para agendamento.

Entrega

Para o processo de Entrega, a amostra de tempo do posto de atendimento é referente a agosto de 2010 e tem o valor de 1 minuto e 22 segundos, ou uma taxa de atendimento média de 44,08 carretas por hora. Já a taxa de chegada de clientes é referente ao período de janeiro de 2011 a setembro do mesmo ano e seu valor é de uma média de 15,52 carretas por hora. O resumo dos tempos que originam as características deste sistema está demonstrado na Tabela 18.

Tabela 18: Valores das grandezas do processo de entrega

| Grandezas | Média | Símbolo |
|--|-------|-----------|
| Número de atendimentos na unidade de tempo (taxa de atendimento) | 44,08 | μ |
| Número de chegadas na unidade de tempo (taxa de chegada) | 15,52 | λ |

Os valores de desempenho deste sistema seguem na Tabela 19. Após isto, as características serão recalculadas na Tabela 20, a fim de limitar a fonte de clientes de um universo infinito para um universo limitado pela quantidade de agendamentos possíveis.

Tabela 19: Valores do desempenho atual do processo de entrega na chegada infinita de clientes

| <i>M/M/1/∞/FIFO</i> | | | |
|-----------------------------|---|--------------------------------------|-------|
| ρ | taxa de utilização do servidor | $\frac{\lambda}{\mu}$ | 35,2% |
| $P(0)$ | probabilidade de que o sistema esteja ocioso | $1 - \rho$ | 64,8% |
| $P(n \geq k)$ $K = 48$ | probabilidade de que haja mais de 48 clientes | $\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k$ | 0,0% |

Tabela 20: Valores do desempenho atual do processo de entrega na chegada limitada pelo agendamento

| <i>M*/M/1/K/FIFO</i> | | | |
|----------------------------|---|---|--------------------|
| $P(0)^*$ | probabilidade de que o sistema esteja ocioso | $(1 - \rho) / P(n \geq 48)$ | 64,8% |
| $P(n > k)^*$ $K = 25$ | probabilidade de que haja mais de 25 clientes na fila | $\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k / P(n \geq 48)$ | 0,0% |
| L_q | número médio de clientes na fila | $\frac{\rho^2}{(1 - \rho)}$ | 0,19 |
| L | número médio de clientes no sistema | $\frac{\rho}{1 - \rho}$ | 0,54 |
| W_q | tempo médio de clientes em espera na fila | $\frac{\rho}{\mu - \lambda}$ | 0,01 = 0,7 minuto |
| W | tempo médio de clientes em espera no sistema | $\frac{1}{\mu - \lambda}$ | 0,04 = 2,1 minutos |

Análise do desempenho atual

O desempenho atual do sistema mostra que o recurso de atendimento possui capacidade ociosa. A probabilidade de termos mais de 25 carretas na fila é praticamente 0. O tempo de fila é de 2,1 minutos, muito inferior a meta estabelecida para o truck cycle de entrega, o que indica não ser um problema esta parcial do processo de entrega, que vai desde a chegada do cliente até a entrada no terminal.

3.7. Estado futuro

O projeto do estado futuro dos processos de Recebimento e Entrega prevê a implantação de algumas novas tecnologias a fim aumentar a taxa de atendimento e assim ampliar a capacidade do sistema. Estas são:

- leitores ópticos de caracteres, de contêineres e placas de carretas (Figura 24);



Figura 24: Esquema do leitor óptico de caracteres
Fonte: libra terminais

- leitor biométrico para identificação de motoristas (Figura 25);



Figura 25: Leitor biométrico

Os leitores ópticos e biométricos proporcionarão maior agilidade ao atendimento, uma vez que irão praticamente eliminar a atividade de digitação, reduzir erros inerentes a operação humana. Além de garantir maior segurança às operações do terminal.

Outra mudança significativa no processo será a união dos sistemas de entrada no terminal dos processos de Entrega e Recebimento formando uma fila única com os mesmos postos de atendimento para os dois processos, e assim utilizar apenas 2 postos de atendimento ao invés dos 3 Gates utilizados anteriormente.

O tempo de atendimento será alterado devido às novas tecnologias utilizadas e a união dos sistemas. Uma projeção das atividades que serão realizadas segue na Tabela 21 e Tabela 22, dividido em cenários de baixa e alta ocupação do pátio respectivamente.

Tabela 21: Projeção do tempo de atendimento na baixa taxa de ocupação de pátio

| CENÁRIO DE BAIXA OCUPAÇÃO DE PÁTIO | |
|---|--------------------|
| ATIVIDADE | TEMPO |
| Leitora óptica de caracteres, de contêineres e placas de carretas | 5,0 seg |
| Leitura biométrica | 30,0 seg |
| Recebimento de documentação complementar | 30,0 seg |
| Planejamento | 7,9 seg |
| Impressão do ticket | 30,0 seg |
| Tempo total | 102,9 seg |
| Taxa de atendimento μ | 35,0 carretas/hora |

Tabela 22: Projeção do tempo de atendimento na alta taxa de ocupação de pátio

| CENÁRIO DE ALTA OCUPAÇÃO DE PÁTIO | |
|---|--------------------|
| ATIVIDADE | TEMPO |
| Leitora óptica de caracteres, de contêineres e placas de carretas | 5 seg |
| Leitura biométrica | 30 seg |
| Recebimento de documentação complementar | 30 seg |
| Planejamento | 18,5 seg |
| Impressão do ticket de recebimento | 30 seg |
| Tempo total | 113,5 seg |
| Taxa de atendimento μ | 31,7 carretas/hora |

É esperado com estas medidas atender as exigências de desempenho de ambos os processos além de evitar situações de transtorno descritas no estado atual e resumidos na Tabela 24.

O local previsto para a fila será composto pelo espaço hoje ocupado pela fila de Recebimento, 15 vagas, mais as vagas de estacionamento abaixo da ponte utilizada pelo processo de Entrega, 25 vagas, totalizando um espaço de 40 vagas para a fila do novo sistema. A Tabela 23 resume o desempenho exigido para o cenário futuro.

Tabela 23: Desempenho exigido no cenário futuro

| Desempenho exigido | |
|---------------------------|----------------------|
| P(n>40) | < 5% |
| W | $\leq 12,56$ minutos |

Tabela 24: Situações a serem evitadas no cenário futuro

| Situações atuais de transtorno |
|---|
| Cruzamento da fila com a principal via do porto |
| Utilização pela fila do espaço destinado a ferrovia |
| Utilização do Gate interno |
| Falta de vagas no estacionamento |

Para projetar a taxa de chegada de clientes será calculado o percentual de crescimento da demanda para cada ano. Após, multiplicado este percentual pela taxa de chegada de clientes de cada ano anterior. Será mantida a divisão de cenários entre a baixa taxa de ocupação do pátio de contêineres e a alta taxa de ocupação. Assim os valores para os próximos anos serão conforme Tabela 25

Tabela 25: Projeção da taxa de chegada de clientes

| Anos | Contêineres | % de crescimento | λ (taxa de chegada de clientes) |
|------|-------------|------------------|---|
| 2011 | 169.434 | - | 33,17 |
| 2012 | 187.452 | 11% | 36,7 |
| 2013 | 193.321 | 3% | 37,85 |
| 2014 | 210.103 | 9% | 41,13 |
| 2015 | 212.081 | 1% | 41,52 |
| 2016 | 226.910 | 7% | 44,42 |
| 2017 | 242.776 | 7% | 47,53 |
| 2018 | 259.751 | 7% | 50,85 |
| 2019 | 277.913 | 7% | 54,41 |
| 2020 | 297.345 | 7% | 58,21 |
| 2021 | 318.136 | 7% | 62,28 |
| 2022 | 337.108 | 6% | 66,00 |
| 2023 | 357.210 | 6% | 69,93 |
| 2024 | 378.512 | 6% | 74,1 |
| 2025 | 401.084 | 6% | 78,52 |
| 2026 | 420.709 | 5% | 82,36 |
| 2027 | 441.294 | 5% | 86,39 |
| 2028 | 462.886 | 5% | 90,62 |
| 2029 | 485.535 | 5% | 95,05 |
| 2030 | 509.292 | 5% | 99,7 |
| 2031 | 534.211 | 5% | 104,58 |
| 2032 | 560.350 | 5% | 109,7 |
| 2033 | 587.767 | 5% | 115,07 |
| 2034 | 616.526 | 5% | 120,7 |
| 2035 | 646.692 | 5% | 126,6 |
| 2036 | 672.754 | 4% | 131,7 |
| 2037 | 699.866 | 4% | 137,01 |
| 2038 | 728.071 | 4% | 142,53 |
| 2039 | 757.412 | 4% | 148,28 |
| 2040 | 787.936 | 4% | 154,25 |
| 2041 | 819.690 | 4% | 160,47 |
| 2042 | 848.584 | 4% | 166,13 |
| 2043 | 878.496 | 4% | 171,98 |
| 2044 | 909.463 | 4% | 178,05 |
| 2045 | 941.522 | 4% | 184,32 |
| 2046 | 974.710 | 4% | 190,82 |
| 2047 | 1.009.069 | 4% | 197,54 |
| 2048 | 1.044.639 | 4% | 204,51 |

Para finalizar a descrição das características do novo sistema, as vagas do agendamento serão somadas, resultando um máximo de 74 agendamentos possíveis no mesmo horário. A avaliação do desempenho desta condição de maior possibilidade de chegada de clientes será utilizada para balizar o desempenho futuro do novo sistema conforme feito anteriormente para o estado atual.

Então, o sistema unificado de entrada de carretas no terminal da Libra apresenta o desempenho projetado para os próximos anos apresentado na Tabela 26.

No cenário de alta taxa de ocupação o sistema entra em colapso após 2021, com uma taxa de ocupação do servidor acima de 100%.

A probabilidade de haver mais de 40 carretas na fila do sistema supera os 5% exigidos em 2021. E o tempo das carretas dentro do sistema de atendimento supera os 12,6 minutos também em 2021.

A Tabela 27 apresenta o desempenho do novo sistema para o cenário de baixa ocupação de pátio.

Para o cenário de baixa ocupação de pátio o novo sistema de atendimento consegue atender à taxa de chegada de clientes até 2022. No mesmo ano a probabilidade do sistema superar as 40 vagas e o tempo das carretas dentro do sistema de atendimento superar 12,6 minutos são excedidos.

3.8. Conclusão do estudo de caso

A análise do resultado acima mostra que após 2020 o desempenho exigido não será mais alcançado em todos os cenários, o que dá uma vida útil de 8 anos à reestruturação realizada no sistema de entrada rodoviária do Terminal Libra. A ocupação de pátio influencia na atividade de planejamento do Gate. Contudo, a aplicação de novos modelos de empilhadeiras de retro área, as RTG`s que são equipamentos que possibilitam um agrupamento otimizado dos contêineres no pátio, poderia eliminar este tempo de planejamento e estender este tempo de vida útil do sistema em 1 ano além da redução de tempo de movimentação e custo trazidos por estes equipamentos.

Somado a implantação dos equipamentos de retro área supracitados, é necessário aumentar a capacidade de atendimento do sistema.

No estudo de caso descrito, o tempo de atendimento foi otimizado com a implantação dos leitores óptico e biométrico. Sendo assim, o próximo passo é aumentar o número de postos de atendimento, os *Gates*, para que a demanda possa ser atendida até 2048, horizonte estabelecido na previsão de demanda.

Ao realizar a avaliação do desempenho com uma quantidade crescente de postos de atendimento e a taxa de chegada para 2048, a taxa de utilização do servidor é maior que 100% até que sejam alocados 5 postos de atendimento e os valores de desempenho exigido são alcançados com 6 postos de atendimento. O resultado segue na Tabela 28.

Tabela 28: Projeção do desempenho do sistema para “c” postos de atendimento em 2048

| Anos | λ | μ | c | r | ρ | M/M/C/ ∞ /FIFO | | M*/M/C/K/FIFO | | | | | | |
|------|-----------|-------|---|------|--------|-----------------------|--------|---------------|---------|-------|-------|------|------|--|
| | | | | | | P(0) | P(n>k) | P(0)* | P(n>k)* | Lq | L | Wq | W | |
| 2048 | 204,51 | 42,52 | 2 | 4,81 | 240% | | | | | | | | | |
| 2048 | 204,51 | 42,52 | 3 | 4,81 | 160% | | | | | | | | | |
| 2048 | 204,51 | 42,52 | 4 | 4,81 | 120% | | | | | | | | | |
| 2048 | 204,51 | 42,52 | 5 | 4,81 | 96% | 0,2% | 9,2% | 0,2% | 20,1% | 23,66 | 28,47 | 0,12 | 0,14 | |
| 2048 | 204,51 | 42,52 | 6 | 4,81 | 80% | 0,5% | 9,4% | 0,6% | 0,0% | 2,10 | 6,91 | 0,01 | 0,03 | |