

**Simulação de uma cadeia de transporte marítima
porta-a-porta entre os portos de Leixões e de Luanda**

Ricardo Jorge Calado Tigranes Pinto

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia e Gestão Industrial

Orientador: Prof. Amílcar José Martins Arantes

Júri

Presidente: Prof. José Rui de Matos Figueira

Orientador: Prof. Amílcar José Martins Arantes

Vogal: Prof^a Cristina Marta Castilho Pereira Santos Gomes

Novembro 2014

Agradecimentos

Como não poderia deixar de ser, os meus primeiros agradecimentos vão para o meu orientador de dissertação: o professor Amílcar Arantes. Foi de louvar toda a sua paciência, conhecimento e disponibilidade culminando num contributo indispensável para a realização deste trabalho.

Depois quero agradecer ao engenheiro Gonçalo Inácio, da Fordesi, que permitiu e auxiliou o desenvolvimento deste trabalho. Sem ele não seria possível alcançar os objetivos a que me propus.

Quero deixar aqui, também, o meu grande obrigado à minha família, em especial à minha avó, ao meu pai, à minha mãe e à minha irmã, e à minha namorada, Joana, por todo o ânimo e palavras de esperança que me transmitiram e que se revelaram essenciais para a concretização deste trabalho.

Por fim, e sendo esta dissertação o culminar de 5 anos de faculdade, quero agradecer a todos os meus amigos, e professores, que me acompanharam e tornaram estes anos inesquecíveis.

Resumo

Atualmente, não existe um serviço de transporte porta-a-porta entre Portugal e Angola sendo que, em todos os serviços oferecidos, os navios fazem várias escalas antes de chegarem ao destino. No entanto, e dada a importância das trocas comerciais realizadas entre Portugal e Angola, torna-se pertinente avaliar a viabilidade de um serviço porta-a-porta entre estes dois países.

Para isso foi realizado um enquadramento macroeconómico dos dois países, de forma a justificar a importância desta dissertação, seguindo-se uma revisão de literatura onde são apresentados conceitos relevantes de logística e simulação, terminando com a análise de estudos semelhantes ao deste trabalho. Por último, foi desenvolvido um modelo de simulação, no SIMUL8, capaz de avaliar quais os fatores necessários para que se consiga obter um serviço de transporte regular e eficaz entre os dois portos.

Foram efetuadas quatro experiências, variando o número de navios a considerar, a sua velocidade e a periodicidade do transporte. Concluiu-se que para se obter um serviço regular o mesmo terá de ser assegurado por dois navios, com periodicidade quinzenal, e capacidade para 2000 TEU. Por fim concluiu-se também que, embora se consiga um transporte regular e eficaz, a taxa de ocupação do navio na viagem entre Luanda e Leixões poderá pôr em causa a viabilidade do serviço.

Palavras-chave: Logística; Simulação de eventos discretos; SIMUL8; Transporte regular; Transporte porta-a-porta

Abstract

Currently, there is no transportation service door-to-door between Portugal and Angola. Thus, ships make several stops before reaching the destination regardless of the services offered. However, given the importance of commercial exchanges carried out between Portugal and Angola, evaluating the feasibility of a door-to-door service between these two countries became quite relevant.

So, a macroeconomic framework of the two countries was developed in order to highlight the importance of this dissertation, followed by a review of relevant concepts in literature, emphasizing the concepts of logistics and simulation, ending with the analysis of similar studies to this work. It is also presented the development of the simulation model in SIMUL8, able to assess what factors are necessary to get a regular and effective transport service between the two seaports.

Four experiments, varying the number of ships to consider, its speed and the frequency of transport, were performed. The results show that to obtain a regular service, two ships are required, with fortnightly and capacity of 2000 TEU. However, although it gets a regular and efficient transport, the occupancy rate of the ship on the journey between Luanda and Leixões could jeopardize the viability of the service.

Key words: Logistics; Discrete-Event Simulation; SIMUL8; Regular transportation; Door-to-door transportation

Índice

1	Introdução.....	1
1.1	Contextualização do problema	1
1.2	Metodologia	1
1.3	Objetivos da dissertação.....	2
1.4	Estrutura da dissertação	2
2	Contextualização	5
2.1	Angola: Enquadramento macroeconómico	5
2.2	Portugal: Enquadramento macroeconómico	7
2.3	Portugal-Angola: relação bilateral.....	8
2.4	Conclusões do capítulo.....	10
3	Revisão de literatura.....	11
3.1	Introdução	11
3.2	Logística e Gestão da Cadeia de Abastecimento	11
3.2.1	Definição de Logística.....	11
3.2.2	Definição de Gestão da Cadeia de Abastecimento	12
3.2.3	Atividade de transporte	13
3.2.3.1	Transporte multi-modal.....	13
3.2.3.2	Transporte marítimo	14
3.3	Simulação	14
3.3.1	Sistema e componentes do sistema	15
3.3.2	Modelos	15
3.3.3	Simulação de eventos discretos versus Simulação de sistemas dinâmicos	16
3.3.4	Fases no desenvolvimento da simulação	18
3.2.5	SIMUL8	21
3.3	Exemplos de estudos de simulação	21
3.4	Conclusões do capítulo.....	27
4	Caso de estudo	29
4.1	Introdução	29
4.2	Realidade atual	29
4.3	Desenvolvimento da simulação	31

4.3.1	Formulação do problema	31
4.3.2	Desenvolvimento do modelo	32
4.3.2.1	Identificação de entidades relevantes	32
4.3.2.2	Diagramas de Ciclo de Vida das entidades	32
4.3.2.3	Diagrama de Ciclo de Atividades	35
4.3.3	Recolha e análise de dados relevantes	37
4.3.4	Construção do modelo em SIMUL8	40
4.3.5	Verificação e validação do modelo	54
4.3.5.1	Fase 1	54
4.3.5.2	Fase 2	60
4.4	Planeamento das experiências e Análise de resultados	70
4.4.1	Experiência 1	70
4.4.2	Experiência 2	72
4.4.3	Experiência 3	74
4.4.4	Experiência 4	75
4.4.5	Resumo das experiências e conclusões retiradas	76
5	Conclusões finais e desenvolvimento futuro	79
	Referências	81
	Anexos	85

Lista de Figuras

Figura 2.1: Variação da percentagem anual da taxa de crescimento do PIB (2002-2011)	5
Figura 2.2: Variação da percentagem anual da taxa de crescimento do PIB de Portugal (2002-2011). 7	
Figura 2.3: Evolução da balança comercial de bens entre Portugal e Angola	8
Figura 3.1: Ilustração das atividades de uma GCA.....	13
Figura 3.2: Ilustração do processo de simulação.....	15
Figura 3.3: Fluxograma das etapas num estudo de simulação	19
Figura 4.1: Esquema do sistema a simular	31
Figura 4.2: Diagrama de ciclo de vida do Contentor 1	33
Figura 4.3: Diagrama de ciclo de vida do Contentor 2	33
Figura 4.4: Diagrama de ciclo de vida do Navio	34
Figura 4.5: Diagrama de ciclo de atividades do sistema.....	36
Figura 4.6: Esquema de um troço semelhante ao que se pretende obter no SIMUL8.....	41
Figura 4.7: Configuração dos tempos de viagem para zero	41
Figura 4.8: Configuração da duração do dia do modelo	41
Figura 4.9: Configuração do <i>Start Point</i> “Contentores 1”	42
Figura 4.10: Configuração do horário de receção de contentores	43
Figura 4.11: Definição da percentagem de contentores a inspecionar.....	43
Figura 4.12: Fila “1 Espera inspeccionamento” e atividade “1 Inspeccionamento”	44
Figura 4.13: Configuração de filas de forma a respeitar a capacidade máxima do navio	44
Figura 4.14: Entrada do navio (entidade permanente) no sistema.....	45
Figura 4.15: Configuração dos horários de partida do navio	46
Figura 4.16: <i>Collect</i> do navio com a receção de autorização de partida	46
Figura 4.17: Demonstração de que não é possível introduzir variáveis na opção <i>collect</i>	47
Figura 4.18: Utilização da ferramenta Visual Logic.....	48
Figura 4.19: Configuração da <i>label</i> “1 n.º contentores”	49
Figura 4.20: Configuração da duração da atividade de carregamento do navio	49
Figura 4.21: Configuração da fila “1 Espera saída” e da atividade “1 Saída de Leixões”	50
Figura 4.22: Configuração da fila “1 Espera viagem” e da atividade “Viagem Leixões_Luanda	50
Figura 4.23: Configuração da fila “1 Espera entrada” e da atividade “1 Entrada em Luanda”	51
Figura 4.24: Configuração da duração da atividade de descarregamento do navio	51
Figura 4.25: Configuração para saída de dois work items da atividade de descarregamento	51
Figura 4.26: Definição da percentagem de contentores a verificar	52
Figura 4.27: Fila “1 Espera verificação” e atividade “1 Verificação”	52
Figura 4.28: Visão geral do modelo desenvolvido em SIMUL8	53
Figura 4.29: Receção de contentores	55
Figura 4.30: Horário de receção de contentores.....	56
Figura 4.31: Validação do n.º de contentores inspecionados em Leixões.....	57
Figura 4.32: Validação do n.º de contentores verificados em Luanda (1)	57

Figura 4.33: Validação do n.º de contentores verificados em Luanda (2)	57
Figura 4.34: N.º de contentores a carregar no navio	58
Figura 4.35: Evolução do n.º de contentores na fila “2 Espera carregamento”	58
Figura 4.36: N.º de contentores que saíram do sistema em Leixões após os 31 dias de simulação... ..	59
Figura 4.37: Contentores na atividade de verificação e respetiva fila	59
Figura 4.38: Horário efetivo de partida do navio, em Luanda	59
Figura 4.39: Definição dos horários de partida do navio para a estabilização do sistema	62
Figura 4.40: Evolução da fila “1 Espera carregamento” com capacidade para 4000 contentores	63
Figura 4.41: Evolução da fila “2 Espera carregamento” com capacidade para 4000 contentores	63
Figura 4.42: Evolução da fila “2 Espera inspeccionamento”	63
Figura 4.43: Evolução da fila “2 Espera verificação”	64
Figura 4.44: <i>Warm Up</i> – N.º médio de contentores 1 à espera para serem carregados	64
Figura 4.45: <i>Warm Up</i> – N.º médio de contentores 2 à espera para serem carregados	65
Figura 4.46: <i>Warm Up</i> - Tempo médio de permanência dos contentores 1 no sistema	65
Figura 4.47: <i>Warm Up</i> - Tempo médio de permanência dos contentores 2 no sistema	65
Figura 4.48: Tempo de simulação – N.º médio de contentores 1 à espera para serem carregados ...	66
Figura 4.49: Tempo de simulação – N.º médio de contentores 2 à espera para serem carregados ...	67
Figura 4.50: Tempo de simulação - Tempo médio de permanência dos contentores 1 no sistema	67
Figura 4.51: Tempo de simulação - Tempo médio de permanência dos contentores 2 no sistema	67
Figura 4.52: Resultados Experiência 1 - Atraso verificado nas partidas em Leixões	70
Figura 4.53: Resultados Experiência 1 - Atraso verificado nas partidas em Luanda	71
Figura 4.54: Resultados Experiência 1 – Ocupação do navio nas viagens provenientes de Leixões..	72
Figura 4.55: Resultados Experiência 2 - Atraso verificado nas partidas em Leixões	72
Figura 4.56: Resultados Experiência 2 - Atraso verificado nas partidas em Luanda	73
Figura 4.57: Resultados Experiência 3 - Atraso verificado nas partidas em Luanda	74
Figura 4.58: Resultados Experiência 3 – Ocupação do navio nas viagens provenientes de Leixões..	74
Figura 4.59: Resultados Experiência 4 - Atraso verificado nas partidas em Leixões	75
Figura 4.60: Resultados Experiência 4 - Atraso verificado nas partidas em Luanda	75

Lista de Tabelas

Tabela 2.1: Principais clientes e fornecedores de bens de Angola em 2011	6
Tabela 2.2: Principais clientes e fornecedores de bens de Portugal em 2012	8
Tabela 2.3: Posição e quota de Angola no comércio internacional Português de bens	9
Tabela 3.1: Diferenças e critérios de seleção entre DES e SD	17
Tabela 4.1: Linhas de Navegação entre o porto de Leixões e o porto de Luanda	30
Tabela 4.2: Mercadoria, em toneladas, transacionada entre o porto de Leixões e o porto de Luanda	37
Tabela 4.3: Categorias de porta-contentores de acordo com a sua capacidade	39
Tabela 4.4: Ícones do SIMUL8	42
Tabela 4.5: Dados utilizados na fase 1 da verificação/validação	54
Tabela 4.6: Verificação do cumprimento do horário de receção de contentores	56
Tabela 4.7: Comparação entre o horário previsto e o horário efetivo de partida do navio (1)	59
Tabela 4.8: Comparação entre o horário previsto e o horário efetivo de partida do navio (2)	60
Tabela 4.9: Dados utilizados para a estabilização do sistema e obtenção de resultados	60
Tabela 4.11: Resultados obtidos na determinação do número de Runs a considerar	68
Tabela 4.12: Verificação do erro obtido na entrada e saída de contentores	69
Tabela 4.13: Verificação do número de contentores a inspecionar	69
Tabela 4.14: Verificação do número de contentores a verificar	69
Tabela 4.15: Resultados – Quadro resumo das experiências	76
Tabela A.1: Duração da viagem em função da velocidade do navio	85
Tabela A.2: Resultados obtidos para a definição do <i>Warm Up</i>	85
Tabela A.3: Valores obtidos na definição do tempo de simulação	86
Tabela A.4: Atraso verificado na Experiência 1	86
Tabela A.5: Taxa de ocupação do navio na Experiência 1	87
Tabela A.6: Atraso verificado na Experiência 2	88
Tabela A.7: Taxa de ocupação do navio na Experiência 2	89
Tabela A.8: Atraso verificado na Experiência 3	90
Tabela A.9: Taxa de ocupação do navio na Experiência 3	91
Tabela A.10: Atraso verificado na Experiência 4	92
Tabela A.11: Taxa de ocupação do navio na Experiência 4	93

Lista de acrónimos

ADB – African Development Bank

CSCMP - Council of Supply Chain Management Professionals

DES – Discrete-Event Simulation

GCA – Gestão da Cadeia de Abastecimento

INE – Instituto Nacional de Estatística

JUP – Janela Única Portuária

SD – System Dynamics

TEU – Twenty-foot Equivalent Unit

UE – União Europeia

VPA – Verbal Protocol Analysis

1 Introdução

1.1 Contextualização do problema

O desenvolvimento das trocas comerciais entre dois países depende, em grande escala, da existência de serviços de transportes económicos, regulares e eficazes, preferencialmente porta-a-porta, entre eles. Nos casos em que a localização geográfica dos dois países obriga à utilização de modos de transporte marítimo ou aéreo, as dificuldades são acrescidas: o modo marítimo, apesar de potenciamento económico, apresenta dificuldades em termos de eficácia e de integração com a restante cadeia porta-a-porta; e o modo aéreo, por seu lado, devido ao seu custo apenas se adequa ao transporte de mercadorias de elevado valor agregado, pequenos volumes e encomendas urgentes.

Neste contexto, a existência de um serviço competitivo porta-a-porta entre o porto de Leixões e o porto de Luanda constitui, por um lado, uma oportunidade de negócio para as empresas/operadores logísticos integradores e, por outro, potencia o desenvolvimento económico das regiões abrangidas pelo serviço. Contudo, a operacionalização e oferta de um serviço porta-a-porta envolvendo o modo marítimo, coloca dificuldades que por vezes o tornam inviável. Isto acontece pois o modo marítimo é fortemente dependente do volume da carga transportada, fator que condiciona o seu custo e, de alguma forma, a oferta de serviços regulares.

Por seu turno, a simulação discreta é uma técnica tradicional da investigação operacional com provas dadas na análise da operação de sistemas complexos e aleatórios. Deste modo, com recurso à simulação, o objetivo do presente trabalho passa por testar e validar, considerando a regularidade do serviço, o número de navios a utilizar e a velocidade do mesmo, possíveis configurações de cadeias de transporte marítimas capazes de assegurar um serviço eficiente de transporte porta-a-porta entre o porto de Leixões e de Luanda.

1.2 Metodologia

A metodologia adotada na presente dissertação envolve um conjunto de fases que se passam a descrever.

Numa primeira fase pretende-se fazer uma contextualização de Portugal e Angola, avaliando a evolução das importações e exportações de ambos os países bem como as trocas comerciais realizadas entre si. Esta parte do trabalho pretende justificar a importância do desenvolvimento de uma cadeia de transporte eficiente entre Portugal e Angola.

Na segunda fase, que começa após a justificação da importância do presente trabalho, é realizada uma revisão bibliográfica, com foco nos conceitos de logística e simulação. Além disso serão analisados estudos semelhantes ao do presente trabalho de forma a perceber quais as metodologias adotadas por outros autores.

A terceira fase será responsável pela identificação/formulação do problema, seguindo-se uma exaustiva recolha e análise de dados. Após a recolha e análise de dados é desenvolvido um modelo

de simulação, em SIMUL8, adequado ao problema em análise. A terceira fase termina com a validação/verificação do modelo onde se pretende aferir se o modelo responde assertivamente ao que se pretende.

Por fim, na quarta fase do trabalho serão realizadas várias experiências, variando componentes relevantes do sistema, de forma a perceber qual a configuração adequada da cadeia de transporte. Analisados e discutidos os resultados obtidos, esta fase termina com a identificação das melhores soluções encontradas.

1.3 Objetivos da dissertação

O principal objetivo do presente trabalho é avaliar a viabilidade de um serviço regular de transporte de contentores, porta-a-porta, entre os portos de Leixões e de Luanda. Assim, resultam os seguintes objetivos operacionais:

- Justificação da importância de uma cadeia de transporte marítima, porta-a-porta, entre Portugal e Angola;
- Definição de conceitos relevantes e revisão de métodos utilizados na resolução de casos semelhantes;
- Identificação do problema, levantamento de dados e identificação de entidades relevantes;
- Desenvolvimento de um modelo de simulação, usando o *software* SIMUL8, adequado ao problema em análise;
- Verificação/validação do modelo de forma a garantir que os resultados obtidos são fidedignos;
- Concluir, através de experiências a realizar, qual a regularidade do serviço, o número de navios a utilizar, bem como a sua capacidade e velocidade, de forma a obter um serviço de transporte eficaz;
- Recomendações para trabalhos futuros.

1.4 Estrutura da dissertação

Com o intuito de concretizar os objetivos propostos no ponto anterior, o presente trabalho segue a seguinte estrutura:

No presente capítulo é apresentado o contexto em que surge o problema em estudo, a metodologia que será seguida na resolução do problema e os objetivos pretendidos com esta dissertação.

No segundo capítulo será feito um enquadramento macroeconómico de Portugal e Angola, bem como a evolução das relações bilaterais entre estes dois países de forma a justificar a importância do desenvolvimento deste trabalho.

No terceiro capítulo é feita uma revisão de literatura sobre os conceitos relevantes para a realização deste trabalho, nomeadamente logística e simulação. Pretende-se, também, mostrar a importância que a simulação tem na resolução dos mais variados problemas, sendo as cadeias de transporte um deles.

O quarto capítulo será dividido em várias fases: inicialmente pretende fazer-se um levantamento da realidade atual, de forma a obter-se uma base de comparação para os resultados a alcançar. Segue-se a identificação do problema culminando na recolha e análise de dados relevantes para o problema identificado. Após a conclusão destas tarefas é apresentado o desenvolvimento do modelo com a respetiva identificação e modelação de entidades relevantes. Em seguida é apresentado a construção do modelo, no SIMUL8, e a sua respetiva validação. O capítulo termina com o planeamento das experiências e retirada de conclusões.

No quinto e último capítulo são apresentadas as conclusões gerais deste trabalho, terminando com sugestões para trabalhos futuros.

2 Contextualização

O desenvolvimento de uma cadeia logística deve ser feito com um horizonte de longo prazo dado a complexidade do seu desenvolvimento e custos associados (Simchi-Levi et al., 2007). Posto isto, e sendo o objetivo da presente dissertação desenvolver e simular uma cadeia logística entre Portugal e Angola, torna-se pertinente realizar um estudo prévio sobre ambos os países de forma a justificar a importância deste trabalho.

Assim, neste ponto pretende-se fazer um enquadramento macroeconómico de Portugal e Angola, com foco no crescimento das suas economias, a evolução das suas importações e exportações bem como os principais países parceiros nestas componentes.

2.1 Angola: Enquadramento macroeconómico

Nos últimos anos, Angola mostrou ser um país em franco crescimento. Prova disso é a taxa de crescimento média do PIB real de 11,6% ao longo da última década. Esta taxa de crescimento é uma das mais altas do mundo, como é possível constatar na figura 2.1 (Jover et al., 2012).

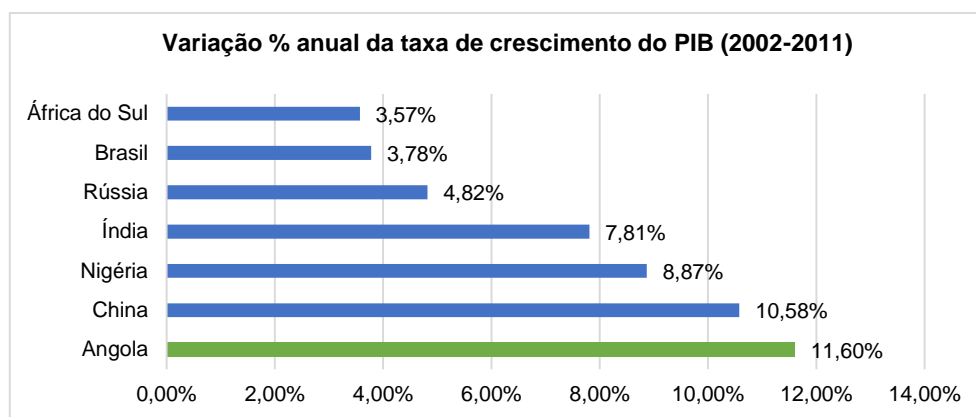


Figura 2.1: Variação da percentagem anual da taxa de crescimento do PIB (2002-2011)

Adaptado de Jover et al. (2012)

Este crescimento está intimamente ligado ao acontecimento do dia 4 de Abril de 2002: a assinatura do acordo de paz entre o governo do MPLA – Movimento Popular de Libertação de Angola – e a UNITA – União Nacional para a Independência Total de Angola, as duas mais poderosas formações políticas do país (DW, 2012). Este acordo pôs fim a 27 anos de guerra e deu início ao crescimento económico sustentado a que se tem assistido nos últimos anos (Jover et al., 2012).

A estabilidade política que se fez sentir desde então, aliado às receitas provenientes do aumento da produção petrolífera, permitiram não só a reconstrução de Angola como estimularam o desenvolvimento de um sector privado não petrolífero. Além disso, a boa gestão macroeconómica a que se assistiu permitiu reduzir a taxa de inflação de mais de 100% em 2002 para valores a rondar os 13% a partir de 2006. Em 2012, este valor foi reduzido para 9,02%, sendo a primeira vez numa década que é alcançado um nível de um dígito nesta taxa (African Development Bank, 2013).

Este clima de estabilidade política e crescimento económico contribuiu para um aumento significativo das trocas comerciais deste país. Em 2002, ano em que foi assinado o acordo de paz, o valor dos bens exportados e importados por Angola foi de, respetivamente, 6,36 mil milhões de dólares e 795 milhões de dólares (The Observatory of Economic complexity, 2014a, 2014c). Em 2011, o valor das exportações de bens foi de 51,9 mil milhões de dólares, o que representa um aumento de 816% face a 2002, e o valor das importações foi de 5,93 mil milhões de dólares, o que representa um aumento de 746% face a 2002 (The Observatory of Economic complexity, 2014b, 2014d).

Como referido anteriormente, o petróleo apresenta-se como um importante trunfo para o desenvolvimento da economia Angolana, já que 80% das receitas fiscais deste país são provenientes deste produto. Este componente representa cerca de 98% das exportações do país e têm como destino, essencialmente, a China e os Estados Unidos. De realçar ainda que este produto é a principal fonte de investimento estrangeiro direto (Jover et al., 2012). Os diamantes são o segundo produto mais exportado por Angola, representando, em 2011, cerca de 1% das exportações. Em jeito de comparação, o valor alcançado com a exportação de diamantes foi de 500 milhões de dólares, muito longe dos 50,8 mil milhões de dólares de petróleo exportado (ADB, 2013).

No que diz respeito aos produtos importados, são essencialmente Maquinaria/Equipamentos e Bens de Consumo. De referir que, apesar dos seus vastos recursos, Angola importa cerca de 95% dos Bens de Consumo, sugerindo que Angola ainda se encontra aquém do seu potencial, tornando-se como uma oportunidade de negócio para muitos países, de que Portugal não é exceção (Jover et al., 2012). Apesar desta dependência de países terceiros no que se refere a bens de consumo, a balança comercial de bens do país apresenta um saldo bastante positivo: 46 mil milhões de dólares em 2011.

Em relação aos parceiros comerciais de Angola, e como a tabela 2.1 sugere, no que toca às exportações são essencialmente a China e os Estados Unidos. Estes dois países foram responsáveis, juntos, por 58,7% dos bens exportados pelo país em 2011. Portugal surge em 8º lugar da lista, o que representa uma importante subida face a 2009, ano em que foi 17º (aicep Portugal Global, 2012). No que toca aos parceiros de importações, Portugal ocupa o 1º lugar, posição que tem consolidado nos últimos anos (Instituto Nacional de Estatística, 2011), surgindo à frente de países como a China e os Estados Unidos.

Tabela 2.1: Principais clientes e fornecedores de bens de Angola em 2011

Adaptado de aicep Portugal Global (2012)

Principais Clientes - 2011			Principais Fornecedores - 2011		
País	Posição	Quota %	País	Posição	Quota
China	1º	37,7	Portugal	1º	18,1
EUA	2º	21,0	China	2º	15,5
Taiwan	3º	8,6	EUA	3º	8,4
Canadá	4º	3,7	Brasil	4º	6,0
Portugal	8º	2,5	África do Sul	5º	5,0

Esta análise preliminar, que salienta Portugal como principal fornecedor de Angola e refere a sua evolução como cliente, justifica, para já, a importância do desenvolvimento de uma cadeia de transporte eficiente entre os dois países.

2.2 Portugal: Enquadramento macroeconómico

Contrariamente a Angola, a economia Portuguesa apresenta-se praticamente estagnada. Nos últimos anos, e tal como a figura 2.2 sugere, apenas em 2010 o PIB mostra uma variação positiva face ao ano anterior.

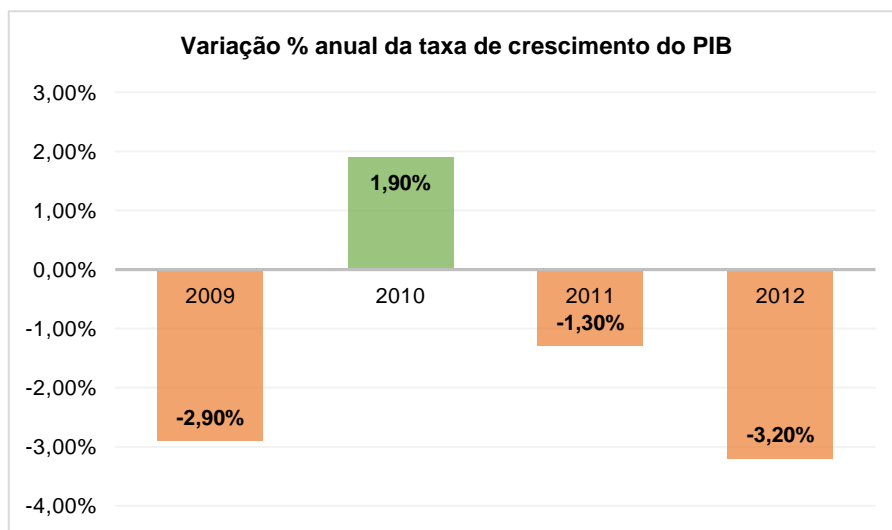


Figura 2.2: Variação da percentagem anual da taxa de crescimento do PIB de Portugal (2002-2011)

Adaptado de aicep Portugal Global (2013a)

Este facto, que representa consequências nefastas para o país, levou a que muitas empresas encarassem a exportação não só como uma oportunidade mas também como maneira de sobrevivência. Assim, as exportações de bens do país nos últimos anos apresentaram um sério crescimento: 45,3 mil milhões de euros em 2012 face a 31,7 mil milhões de euros em 2009, o que representa um aumento de aproximadamente 43%. Os principais grupos de produtos exportados foram as Máquinas e aparelhos, os Veículos e outro material de transporte e os Combustíveis minerais. Juntos, estes três grupos de produtos representaram 35,2% do valor total das exportações de bens em 2012 (Instituto Nacional de Estatística, 2013).

Ao contrário de Angola, Portugal não é produtor de petróleo, pelo que este produto detém a maior quota no que se refere às importações de bens (20,6% em 2012). As Máquinas e aparelhos e os Químicos ocupam o 2º e 3º lugar, representando estes grupos de produtos 46,5% do total das importações de bens em 2012 (Instituto Nacional de Estatística, 2013). Embora as exportações apresentem, nos últimos anos, uma tendência crescente, a dependência de petróleo aliada à forte aquisição de produtos ao estrangeiro tornam o saldo da balança comercial de bens do país negativo. Ainda assim, o pico no valor das exportações de bens em 2012 aliado à queda de 5,1% no valor das importações levou a que o saldo da balança comercial fosse deficitário em 10 940 milhões de euros, o valor mais baixo alcançado desde 1997.

No que diz respeito aos parceiros comerciais de Portugal, e tal como a tabela 2.2 sugere, Espanha Alemanha e França são os principais clientes e fornecedores de Portugal. Juntos, são responsáveis por 46,7% das importações do país e por 50% das exportações. A ocupar o 1º lugar no que diz respeito a principais clientes e fornecedores extracomunitários de Portugal surge Angola. Assim, pode-se retirar uma importante relação entre estes países que serve de motivação ao presente trabalho: Portugal é o principal fornecedor de Angola, e Angola é o principal cliente e fornecedor fora da União Europeia de Portugal.

Tabela 2.2: Principais clientes e fornecedores de bens de Portugal em 2012

Adaptado de Instituto Nacional de Estatística (2013)

Principais Clientes - 2012			Principais Fornecedores - 2012		
País	Posição	Quota %	País	Posição	Quota
Espanha	1º	22,5	Espanha	1º	31,9
Alemanha	2º	12,3	Alemanha	2º	11,5
França	3º	11,9	França	3º	6,6
Angola	4º	6,6	Itália	4º	5,3
Reino Unido	5º	5,3	Angola	6º	3,2

2.3 Portugal-Angola: relação bilateral

No enquadramento macroeconómico de Portugal e Angola, realizado nos pontos anteriores, foi possível verificar a importância da relação bilateral entre estes dois países. O rápido crescimento de Angola levou a que vários países de África, Europa e América Latina tenham procurado aprofundar as relações comerciais com Angola, de que não é exceção Portugal, que se mantém como principal fornecedor do país. Esta relação bilateral, que tem sido aprofundada nos últimos anos, é refletida na evolução da troca de produtos entre estes dois países, evolução essa que se pretende apresentar na figura 2.3.

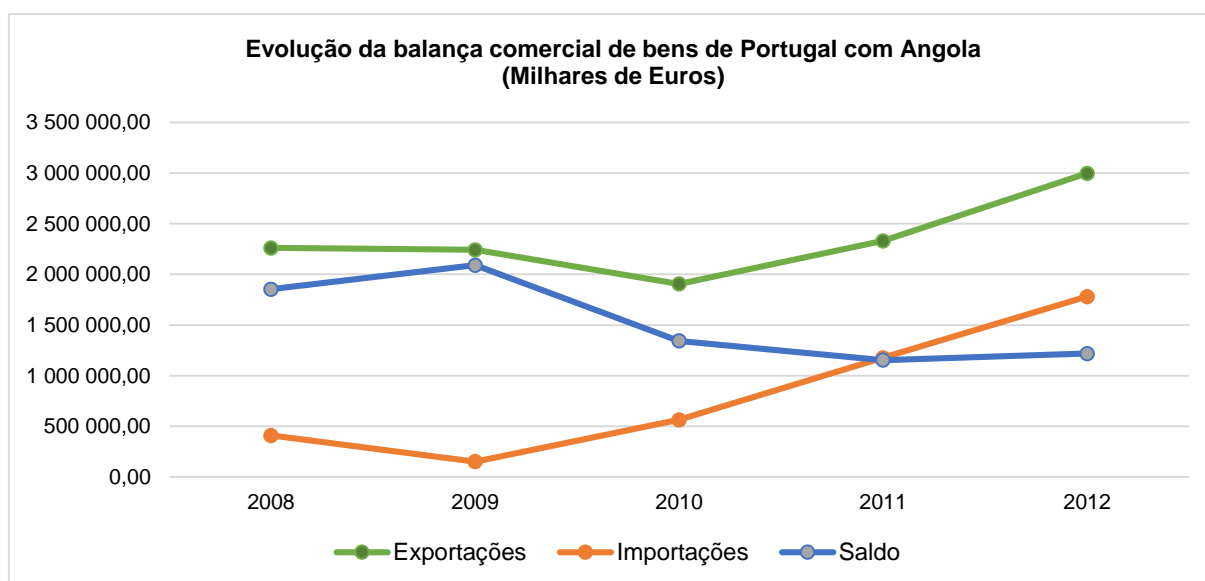


Figura 2.3: Evolução da balança comercial de bens entre Portugal e Angola

Adaptado de aicep Portugal Global (2013)

É possível identificar uma clara tendência crescente tanto nas importações (sentido Angola-Portugal) como nas exportações (sentido Portugal-Angola) resultando, ao longo dos últimos anos, num saldo da balança comercial entre estes dois países favorável a Portugal. No ano de 2012 Portugal exportou bens para Angola no valor de cerca de 3 mil milhões de euros, o que representa um aumento de 28,6% face a 2011, e importou bens no valor de 1,78 mil milhões de euros, o que representa um aumento de 51,3% em relação a 2011 (aicep Portugal Global, 2013a). No sentido Portugal-Angola seguem essencialmente produtos incluídos nos grupos Máquinas e aparelhos, produtos Alimentares e Metais comuns. No sentido Angola-Portugal seguem principalmente os Combustíveis minerais.

O aprofundar das relações entre estes dois países resulta, por um lado, na forte presença de empresas portuguesas em Angola, em sectores que vão da construção à banca, passando por produtos alimentares e bebidas. Por outro lado, e não menos importante, Angola tornou-se, actualmente, no principal investidor em Portugal (Jover et al., 2012). Além disso, e como sugere a tabela 2.3, a posição de Angola no comércio internacional português de bens mostra uma evolução favorável: Angola tem consolidado o quarto lugar como cliente de Portugal, enquanto como fornecedor tem assumido uma posição cada vez mais relevante, principalmente devido ao petróleo, assumindo o sexto lugar em 2012.

Tabela 2.3: Posição e quota de Angola no comércio internacional Português de bens

Adaptado de aicep Portugal Global (2013)

		2008	2009	2010	2011	2012
Angola como cliente de Portugal	Posição	4	4	5	4	4
	% Saídas	5,82	7,07	5,11	5,44	6,61
Angola como fornecedor de Portugal	Posição	21	36	15	11	6
	% Entradas	0,64	0,29	0,96	1,99	3,18

No sentido inverso, e como referido em pontos anteriores, também Portugal tem assumido uma importância relevante para Angola, sendo o seu principal fornecedor desde 2007 (The Observatory of Economic complexity, 2013) Assim, é na evolução das trocas comerciais entre estes países bem como no aprofundar da sua relação bilateral que surge a importância do desenvolvimento de uma cadeia de transporte de mercadorias porta-a-porta eficiente entre estes dois países.

2.4 Conclusões do capítulo

Neste primeiro capítulo foi feita uma contextualização de Portugal, de Angola, e da sua relação, justificando-se a necessidade do desenvolvimento do presente trabalho. Assim:

- Angola apresenta uma das mais altas taxas de crescimento do PIB do mundo, levando países de todo o mundo a quererem aprofundar as relações comerciais com este país;
- O petróleo é o principal produto exportado por Angola, sendo o principal impulsionador da economia e do desenvolvimento do país;
- Apesar dos vastos recursos, Angola ainda importa cerca de 95% dos bens de consumo;
- O principal fornecedor de Angola é Portugal;
- O facto da economia portuguesa se encontrar praticamente estagnada contribuiu para a evolução favorável das exportações do país;
- Angola é o principal cliente e fornecedor fora da União Europeia de Portugal;
- Portugal importa de Angola, essencialmente, petróleo. Angola importa de Portugal principalmente maquinaria, produtos alimentares e metais comuns;
- A evolução das trocas comerciais entre estes dois países bem como o aprofundar da sua relação salienta e justifica a importância do desenvolvimento deste trabalho.

3 Revisão de literatura

3.1 Introdução

No presente capítulo, composto por três partes, é feita uma revisão de literatura de conceitos e estudos relevantes para o presente trabalho.

Numa primeira parte pretende-se apresentar conceitos relevantes de logística e gestão da cadeia de abastecimento, bem como dos vários processos envolvidos. Esta primeira parte acaba com a análise em maior detalhe da atividade de transporte, visto ser uma área central desta dissertação. Na segunda parte do capítulo o foco será no conceito de simulação. Serão apresentados os conceitos de sistema e de modelo, as diferenças entre simulação de eventos discretos e simulação de sistemas dinâmicos terminando o capítulo com a apresentação das fases no desenvolvimento da simulação bem como do *software* de simulação que será utilizado neste trabalho: o SIMUL8. Na terceira parte são apresentados, então, exemplos de estudos de simulação semelhantes ao da presente dissertação terminando o capítulo com as principais conclusões retiradas.

3.2 Logística e Gestão da Cadeia de Abastecimento

3.2.1 Definição de Logística

Segundo Ellram et al. (2006), a logística é uma rede de atividades relacionadas entre si com a finalidade de gerir, de forma ordenada, o fluxo de material e de pessoal com o objetivo de adicionar valor às atividades realizadas dentro do canal de logística. Em suma, a logística é caracterizada pelo fluxo de materiais e serviços.

Embora a logística seja comumente associada à gestão e distribuição de produtos, as suas aplicações não se ficam por aí. A logística assume, também, um papel fulcral no setor dos serviços, como atividades governamentais, bancos, hospitais ou o setor das telecomunicações. Além disso, o fluxo reverso de produtos, como a remoção de equipamentos antigos ou as atividades associadas à reciclagem e reutilização de produtos é também da responsabilidade da logística.

Nos últimos anos, o foco das empresas tem sido, cada vez mais, na eficiência das suas operações. Uma justificação clara é que, como refere Simchi-Levi et al. (2007), a redução de custos em atividades como a aquisição de matérias-primas ou transporte (atividades logísticas) tem um impacto muito superior no lucro quando comparado com um aumento nas vendas. Assim, a logística assume uma extrema importância na economia das empresas. Além disso, importa lembrar que a eficiência dos serviços de um país (como hospitais, transportes ou atividades governamentais) é associada, também, ao sucesso, ou não, das atividades logísticas associadas. Este facto, aplicado à importância da logística nas empresas, revela a importância que a logística assume, também, na economia de um país.

Em resumo, e de acordo com Ellram et al. (2006), as atividades da logística que se destacam são:

- Seleção de fábricas e armazéns;
- Previsões da procura e planeamento da produção;
- Aquisição de matérias-primas;
- Processamento de encomendas;
- Embalamento e armazenamento;
- Controlo de inventário;
- Manuseamento de materiais;
- Serviço de apoio ao cliente;
- Logística inversa (retorno de materiais);
- Transporte.

De realçar que, de todas as atividades logísticas referidas, o foco deste trabalho incide sobre a atividade de transporte.

3.2.2 Definição de Gestão da Cadeia de Abastecimento

Vários autores apresentam definições semelhantes para Gestão da Cadeia de Abastecimento (GCA). O CSCMP (Council of Supply Chain Management Professionals) (2013) afirma que a GCA *“engloba o planeamento e gestão de todas as atividades envolvidas na aquisição, transformação, e todas as atividades de gestão de logística”*. Complementarmente, o CSCMP define gestão de logística como *“a parte da gestão da cadeia de abastecimento que planeia, implementa e controla, de maneira eficiente e eficaz, o fluxo direto e inverso, o armazenamento de produtos, e os serviços e informações relacionadas, entre o ponto de origem e o ponto de consumo com o objetivo de satisfazer as exigências dos clientes.”*

Tsiakis et al. (2001) apresentam uma definição semelhante: *“A cadeia de abastecimento é definida como uma rede de infraestruturas que desempenha as funções de aquisição de matérias-primas, transformação dessas matérias para produtos intermédios e acabados, e a distribuição desses produtos até aos clientes”*.

Min & Zhou (2002) apresentam uma definição mais completa que a de Tsiakis et al. (2001). Afirmam que a cadeia de abastecimento é referida como um sistema integrado que sincroniza uma série de processos de negócio inter-relacionados com o objetivo de: 1) adquirir matérias-primas e componentes; 2) transformar as matérias-primas e componentes em produtos acabados; 3) adicionar valor a esses produtos; 4) distribuir e promover esses produtos a retalhistas ou clientes; 5) facilitar a troca de informação entre as várias entidades envolvidas.

A GCA assume, assim, uma importância extrema no sucesso das mais variadas empresas. Lambert & Cooper (2000) realçam este facto ao afirmarem que uma das mudanças mais significativas no paradigma da administração moderna de empresas é que, atualmente, os negócios individuais não competem apenas como entidades autónomas, mas sim como cadeias de abastecimento. Esta visão é partilhada por vários autores, como Beamon (1998) ou Bookbinder et al. (2005).

3.2.3 Atividade de transporte

Tsiakis et al. (2001) sugerem que uma cadeia de abastecimento típica inclui fornecedores, locais de produção, infraestruturas de armazenamento, e clientes. Segundo os mesmos autores, este facto envolve dois processos básicos e integrados:

1. Planeamento da produção e o processo de controlo de inventário, que lida com a produção, armazenamento, e as suas interfaces;
2. Processo de distribuição e logística, que determina como é que os produtos são obtidos e transportados dos armazéns aos retalhistas.

Beamon (1998) partilha da visão de Tsiakis et al. (2001), e completa a afirmação acima com o esquema mostrado na figura 3.1:

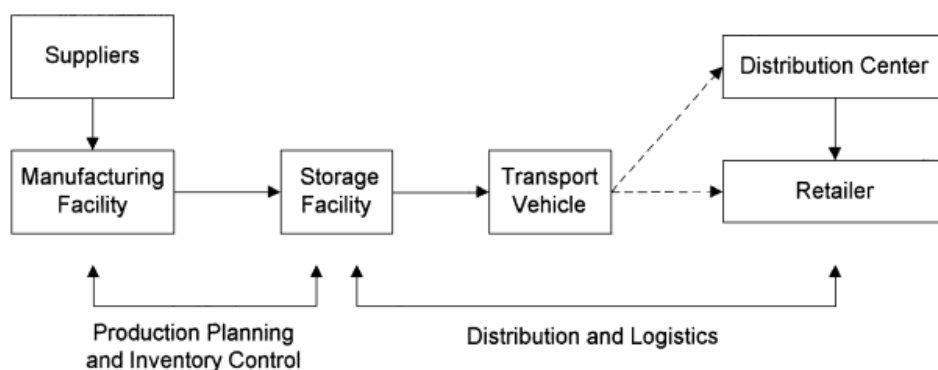


Figura 3.1: Ilustração das atividades de uma GCA

Fonte Beamon (1998)

Sendo o objetivo do presente trabalho a simulação de uma cadeia de transporte, importa focar, então, no segundo processo, mais em concreto no processo do transporte.

A atividade de transporte é responsável pelo transporte de mercadorias de um ponto de origem até um ponto de destino, podendo ser feito via rodoviária, ferroviária, aérea ou marítima. De salientar que, como Simchi-Levi et al. (2007) realçam, os custos com o transporte assumem a maior fatia dos custos de logística das empresas, representando, tipicamente, mais de 50% destes custos.

3.2.3.1 Transporte multi-modal

Tipicamente, uma cadeia de transporte envolve mais do que um meio de transporte, embora na presente dissertação se considere apenas o uso do transporte marítimo. A associação de dois ou mais meios de transporte, segundo Lowe (2005), é prática regular e bem estabelecida numa cadeia de transporte. No entanto, ainda não foi conseguido um consenso global para a definição desta prática, sendo os termos mais comuns o transporte multi-modal, o transporte combinado, o transporte intermodal e a co-modalidade (Marinov et al., 2013).

O termo que parece ser mais claro, e genérico, é o de transporte multi-modal, sendo várias as definições apresentadas na literatura. Segundo Marinov et al. (2013), uma das primeiras definições foi

apresentada pelas Nações Unidas, em 1980: “*Transporte multi-modal é o transporte de mercadorias por pelo menos dois modos de transporte diferentes em que o operador de transporte é encarregue de carregar a mercadoria num lugar de um determinado país, para um lugar definido para entrega num país diferente.*”

Em 2001 três organizações (International Transport Forum, United Nations Economic Commission for Europe, e a European Commission) concordaram nas definições de vários termos, entre os quais a de transporte multi-modal. Esta definição, clara e concisa, diz que o “*transporte multi-modal é o transporte de mercadorias por dois ou mais meios de transporte*” (United Nations, 2001). A título de curiosidade, outro termo definido foi o de transporte intermodal, definido como “*a circulação de mercadorias numa única unidade de carga ou veículo rodoviário, que utiliza dois ou mais meios de transporte sem manusear a mercadoria ao mudar de meio de transporte*”.

3.2.3.2 Transporte marítimo

Segundo David & Stewart (2010), o transporte marítimo é caracterizado por ser um transporte de longa distância, fazendo o transporte de um terminal a outro. Dado a capacidade de transportar grandes quantidades de carga, pode ser considerado um transporte com baixo custo. O transporte marítimo é um transporte lento, e permite o transporte de quatro tipos de mercadoria:

- Mercadoria líquida, que é carregada diretamente no porão do navio;
- Mercadoria seca, também carregada diretamente no porão do navio. Embora seca, a mercadoria toma a forma do porão;
- Mercadoria embalada, mas não contentorizada;
- Mercadoria contentorizada, ou seja, que é transportada dentro de contentores. Este é o tipo de mercadoria a considerar no âmbito desta dissertação.

3.3 Simulação

Segundo Pidd (1998) a simulação, tipicamente baseada num computador, refere-se a um procedimento que representa um fenómeno ou um sistema. O seu principal objetivo é melhorar ou otimizar o desempenho de um sistema de acordo com um conjunto de critérios pré-determinados, examinando o seu funcionamento e analisando a sua sensibilidade quando sujeito à variação de uma série de fatores.

Associado à simulação surge, frequentemente, o termo heurística. Como afirma Porta Nova (2008), “*heurística é um procedimento desenvolvido empiricamente, através de regras baseadas no senso comum, com vista à resolução aproximada de um problema (o objetivo não é procurar o ótimo, mas sim uma solução razoável)*”. Assim, a simulação assume-se como uma técnica para tentar resolver problemas para os quais não existe (ou é muito cara) uma resolução analítica ou baseada nos métodos usuais da Análise Numérica. Como refere Pidd (1998), “*a simulação é a mais importante abordagem para o estudo de problemas complexos com elevado número de parâmetros garantindo custos baixos e uma alta perceção da interação entre os diversos componentes do sistema*”.

De realçar que a simulação acaba por ser uma abordagem segura já que oferece a oportunidade de repetir várias execuções do mesmo fenómeno levando em consideração todos os diferentes aspetos da operação. No entanto, por vezes é requerida uma quantidade significativa de recursos de computação, o que significa tempo e elevado custo, sem que seja garantida uma solução ótima na resolução do problema em análise. Surge, então, um *trade-off* (compromisso) entre o custo de computação e a fiabilidade dos resultados.

3.3.1 Sistema e componentes do sistema

Porta Nova (2008) sugere que “*por sistema, entende-se um conjunto organizado de entidades que interatuam entre si e funcionam como um todo, com vista à obtenção de um objetivo comum*”. Como refere Miyagi (2006), um sistema é afetado por mudanças ocorridas no ambiente externo do sistema, ou seja, por mudanças que ocorrem fora do sistema. Assim, torna-se fulcral, em modelação de sistemas, definir a fronteira entre o sistema e o seu ambiente. Esta definição depende, pois, da finalidade do estudo.

Associado a um sistema estão uma série de componentes que importam definir. São eles (Miyagi, 2006):

- Entidade – objeto de interesse no sistema;
- Atributo – propriedade da entidade;
- Atividade – ação que ocorre dentro do sistema;
- Evento – ocorrência que altera o estado do sistema;
- Estado – descreve uma situação do sistema e é identificado pelos valores das suas variáveis num determinado instante.

3.3.2 Modelos

Sendo a simulação um método experimental, o seu sucesso está altamente dependente da credibilidade do modelo subjacente ao sistema, bem como dos parâmetros selecionados (Pidd, 1998).

Porta Nova (2008) refere de forma informal, e muito genérica, que simular é frequentemente apresentado na literatura como um processo incluindo os seguintes passos: desenvolver um modelo de um sistema real, "alimentá-lo" com dados e observar os resultados correspondentes.

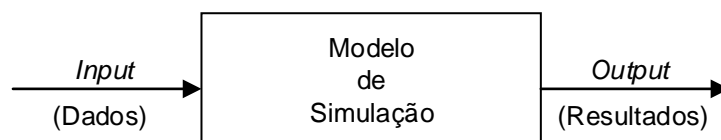


Figura 3.2: Ilustração do processo de simulação

Fonte Porta Nova (2008)

Posto isto surge, então, a necessidade de definir modelo. Como explica Miyagi (2006), em engenharia um modelo não é mais que uma representação de um sistema com o objetivo de estudá-lo. Na maioria dos casos é apenas necessário considerar os fatores do sistema que afetam o estudo. São estes fatores que serão representados no modelo do sistema, sendo o modelo, por definição, uma simplificação do sistema real com vista a tornar tratável o seu estudo. De realçar, ainda assim, que o modelo deve ser suficientemente detalhado de forma a permitir retirar conclusões válidas sobre o sistema real.

Segundo Miyagi (2006) e Porta Nova (2008), os modelos são caracterizados em função da sua natureza (modelos icónicos, analógicos ou simbólicos), em função da variável tempo (modelos estáticos ou modelos dinâmicos), em função da natureza das grandezas representadas (modelos determinísticos ou estocásticos) e em função da natureza do sistema (modelo contínuo, discreto ou combinado).

Por fim, realçar que os modelos devem considerar a representação de todos os componentes do sistema, componentes estas definidas no ponto anterior e que são as entidades, atributos, atividades, eventos e estados.

3.3.3 Simulação de eventos discretos versus Simulação de sistemas dinâmicos

Segundo Pidd (1998), a simulação é uma ferramenta de modelação amplamente utilizada em investigação operacional onde modelos de computador são implementados para que se consiga entender e experimentar um sistema.

Duas das mais estabelecidas abordagens de simulação são a simulação de eventos discretos (DES - *discrete-event simulation*) e a simulação de sistemas dinâmicos (SD - *system dynamics*). Ambos surgiram e evoluíram praticamente em simultâneo com o avanço dos computadores (Robinson, 2005; Wolstenholme, 1990), embora exista muito pouca comunicação entre ambos os campos (Lane, 2000). Tanto a DES como a SD são representações simplificadas de um sistema desenvolvido com vista a avaliar a performance ao longo do tempo e para identificar eventuais pontos que possam melhorar o sistema.

A simulação de eventos discretos, que será a utilizada em fases posteriores deste trabalho, representa entidades individuais que se movem através de uma série de filas e atividades em pontos discretos no tempo. Geralmente, os modelos são de natureza estocástica. Tradicionalmente usado no setor de produção, recentemente este tipo de simulação tem sido amplamente utilizado no setor de serviços (Robinson, 2005), sendo aeroportos, *call centers*, restaurantes de *fast food* e bancos alguns exemplos.

Em SD, os sistemas são modelados como um conjunto de *stocks* e fluxos, ajustados em intervalos de tempo pseudo-contínuos. Os modelos deste tipo de simulação são baseados em equações diferenciais e geralmente são deterministas. O feedback, que resulta das relações entre as variáveis do modelo, é uma característica importante nos modelos SD. Este tipo de simulação é aplicado, também, a uma ampla gama de problemas, de que se destaca o comportamento económico, política, energia e problemas ambientais, gestão da cadeia de abastecimento, e processos de produção (Wolstenholme, 1990).

Ao longo dos anos vários estudos têm sido realizados com o intuito de comparar não só estes dois métodos de simulação, mas comparar também os especialistas de ambos os métodos. Um exemplo de um estudo relevante é o de Tako & Robinson (2010), onde os autores fazem uso da análise do protocolo verbal (VPA - *verbal protocol analysis*), para comparar o processo de desenvolvimento de um modelo de simulação seguido por especialistas em DES e SD. Neste estudo, dez especialistas em modelação (5 em SD e 5 em DES) são convidados a construir um modelo de simulação, com base num caso de estudo, enquanto pensam em voz alta. A principal conclusão retirada foi de que os modeladores de DES focam-se muito mais na codificação do modelo e na sua verificação e validação, enquanto os modeladores de SD focam-se mais na conceção do modelo.

O estudo de Tako & Robinson (2010) também se revela importante pela revisão de literatura efetuada, que se foca nas principais diferenças entre a DES e a SD apresentadas na literatura. Além destes autores, também Brailsford & Hilton (2001) apresentam, sumariamente, diferenças entre a DES e a SD bem como critérios para seleção de uma das abordagens. A tabela 3.1 apresenta, então, algumas conclusões dos autores referidos nestas componentes.

Tabela 3.1: Diferenças e critérios de seleção entre DES e SD

Adaptado de Brailsford & Hilton (2001); Tako & Robinson (2010)

Aspetos comparados	DES	SD
Natureza dos problemas modelados	Táticos/Operacionais	Estratégicos
Importância da variabilidade	Alta	Baixa
Representação do sistema	Visão analítica	Visão holística
Complexidade	Foco restrito com grande complexidade e pormenor	Foco mais amplo, sistemas gerais e abstratos
Número de entidades	Pequeno	Grande
Saída de dados	Quantitativos	Qualitativos
Objetivo	Decisões: otimização, comparação	Formulação de políticas: melhorar compreensão

Como mencionado, tanto a DES como a SD são utilizados nas mais diversas áreas. No sistema que se pretende simular, uma cadeia de transporte entre o porto de Leixões e o porto de Luanda, existe um baixo número de entidades (apenas 2: navios e contentores, como será descrito no próximo capítulo) e a variabilidade assume uma elevada importância. Além disso, os dados que se pretendem obter são dados quantitativos, como tempos de espera e a utilização de recursos, e o objetivo da simulação é otimizar a cadeia desenvolvida e comparar diferentes configurações da mesma. Posto isto, seguindo os critérios de escolha apresentados na tabela 3.1, a DES assume-se como a opção correta para simular o modelo a desenvolver na presente dissertação.

3.3.4 Fases no desenvolvimento da simulação

O desenvolvimento de uma simulação é um processo feito por diversas fases.

De acordo com Porta Nova (2008), as fases são:

1. Formulação do problema;
2. Desenvolvimento de um modelo;
3. Recolha e análise dos dados relevantes;
4. Construção do modelo numa linguagem adequada;
5. Verificação do modelo computacional;
6. Validação do modelo de simulação;
7. Planeamento da(s) experiência(s);
8. Análise dos resultados (e redução da variância);
9. Implementação do estudo.

A figura 3.3, apresentada e especificada nas páginas seguintes, apresenta um fluxograma contendo as relações entre as várias fases no desenvolvimento de um estudo de simulação. Como Pidd (1998) afirma, associado à simulação está o uso de computadores. Assim, a simulação de um sistema real segue passos análogos ao da resolução de outros problemas com o auxílio do computador. Como o fluxograma sugere, o estudo de uma simulação é um processo iterativo, em que, dependendo ou não da verificação de determinadas condições, poderão ter de ser repetidos passos já efetuados.

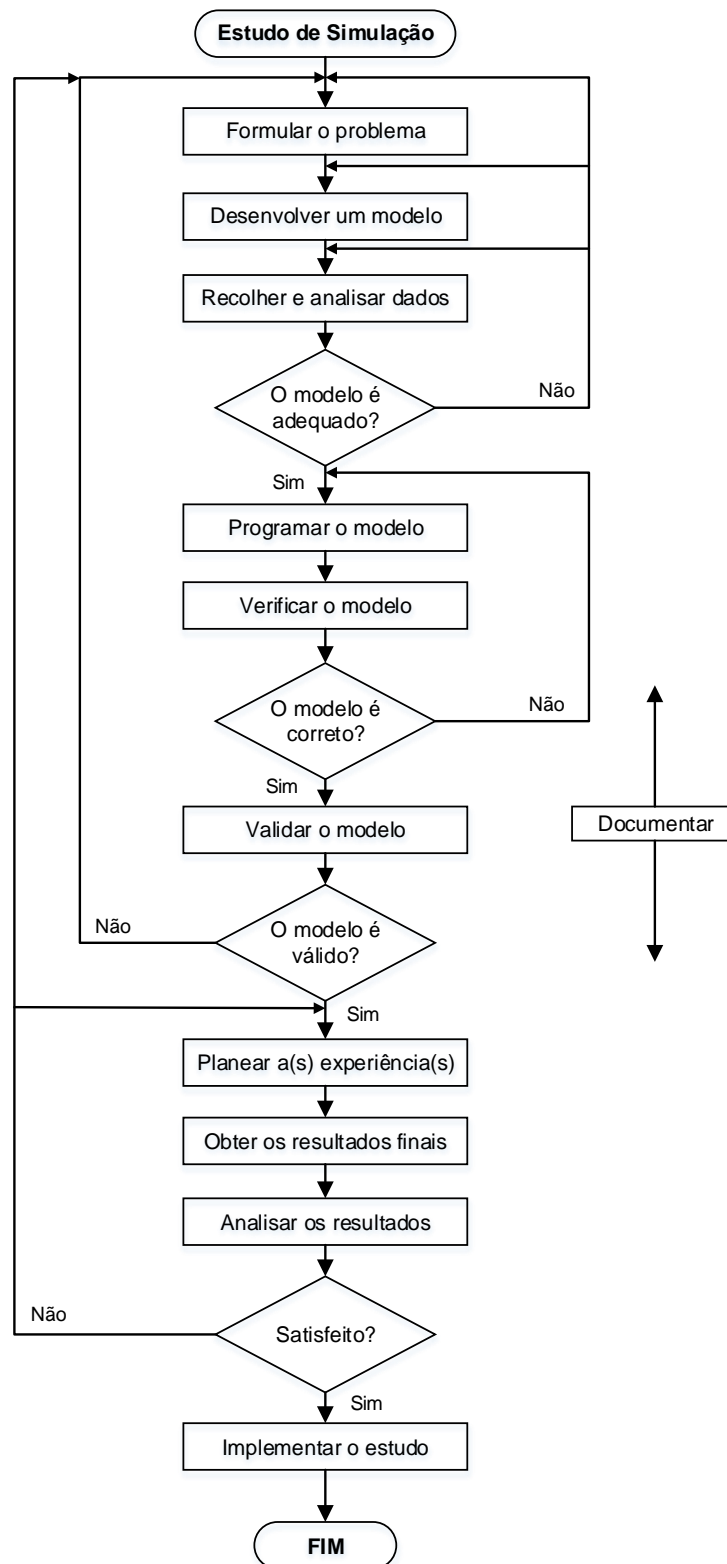


Figura 3.3: Fluxograma das etapas num estudo de simulação

Fonte Porta Nova (2008)

Uma parte fundamental no desenvolvimento da simulação, e que por vezes é descurada, é a documentação de todas as fases do processo. A documentação deve acompanhar a evolução do trabalho desde os esboços iniciais devendo ser realizada em paralelo com todas as outras fases.

1. **Formulação do problema** – antes de se começar o desenvolvimento do modelo de simulação, é fulcral definir qual o problema a estudar e definir, claramente, o que se pretende obter com o estudo. Discriminar alternativas a considerar, critérios a comparar, orçamento, e o tempo que será despendido na sua execução são pontos que não devem ser descorados nesta etapa.
2. **Desenvolvimento de um modelo** – como muitos autores referem, de que é exemplo Pidd (1998), Robinson (2005), Lane (2000) e Porta Nova (2008), só características como a experiência e a capacidade de observação e abstração permitem simplificar, de uma forma realista e ajustada às necessidades, um dado sistema real. Esta fase é responsável por isso, e inclui a identificação de entidades, a escolha de uma das perspetivas de modelação existentes e delinear, então, o modelo conceptual do sistema. É importante começar pelo desenvolvimento de um modelo simples e, posteriormente, incluir pormenores exigidos por um funcionamento mais realista do modelo.
3. **Recolha e análise de dados relevantes** – a recolha de informação do sistema real é fulcral para a estimação dos parâmetros do modelo e para o ajuste de distribuições de probabilidade teóricas às variáveis aleatórias incluídas no modelo. É importante, também, para a validação do modelo.
4. **Construção do modelo numa linguagem adequada** – existem várias linguagens de programação específicas deste domínio. Exemplos de linguagens de programação usadas, por vezes, em simulação são Pascal, C, FORTRAN ou Basic. Exemplos de linguagens específicas de simulação são SLAM, SIMSCRIPT, GPSS e SIMAN.
5. **Verificação do modelo computacional** – como acontece várias vezes quando se programa, é normal que o modelo desenvolvido tenha erros. Esta fase é dedicada à sua deteção e correção.
6. **Validação do modelo de simulação** – como já referido, é objetivo do modelo representar realisticamente o sistema em estudo. Esta fase avaliará se o modelo corresponde ao objetivo delineado. A avaliação será feita qualitativamente e quantitativamente através da geração de dados do modelo e respetiva comparação com informação histórica do sistema real.
7. **Planeamento da(s) experiência(s)** – o desenvolvimento de um modelo surge para a realização de experiências. Um modelo pode ser usado para estimar determinadas medidas de performance, para detetar problemas existentes num determinado sistema ou para testar mudanças num sistema e/ou avaliar as respetivas consequências. Esta fase envolve, então, o planeamento das experiências.
8. **Análise dos resultados (e redução da variância)** – tanto na análise de dados como de resultados são utilizadas técnicas da estatística para a determinação das medidas médias de performance. Existem vários métodos para a análise dos resultados gerados por um modelo de simulação como o das réplicas independentes (*independent replications*), o das médias de lotes (*batch means*) e o método regenerativo. O mais utilizado é o das réplicas independentes, que consiste em repetir a execução do modelo tantas vezes quantas as necessárias para obter medidas de performance com variâncias suficientemente baixas. Importa salientar que as grandezas a analisar possuem variâncias, pois são aleatórias. Se a variância observada for superior ao desejado, podem ser aplicadas técnicas para a sua redução. A técnica mais utilizada é a dos números aleatórios comuns (*common random numbers*), que permite sujeitar, às mesmas condições experimentais (mesma sequência de números aleatórios uniformes) diversas alternativas necessárias de testar.
9. **Implementação do estudo** – o estudo de simulação termina com a implementação dos resultados.

3.2.5 SIMUL8

O SIMUL8 é um *software* para simulação de eventos discretos desenvolvido no início da década de 90 na Universidade de Strathclyde (Escócia). Desenvolvido para uso didático em disciplinas de simulação, rapidamente atingiu sucesso como ferramenta de ensino. Dado este sucesso, a *SIMUL8 Corporation* iniciou a comercialização do SIMUL8 como ferramenta profissional de projetos de simulação.

Segundo Shalliker & Ricketts (2002), o SIMUL8 é um programa de computador que permite ao utilizador criar um modelo visual do sistema alvo de estudo através do desenho de objetos (tipicamente filas ou pontos de serviço) diretamente no ecrã. As características dos objetos podem ser definidas em termos de, por exemplo, capacidade ou velocidade.

No fim da modelação do sistema, pode ser feita uma simulação. O fluxo de *items* de trabalho em todo o sistema é mostrado através de animações no ecrã para que se possa avaliar a adequabilidade do modelo. A partir do momento em que a estrutura do modelo é validada, pode ser executado, então, uma série de ensaios de forma a avaliar, estatisticamente, a performance do sistema. Estatísticas de interesse são tempo médio de espera, utilização de centros de trabalho, recursos, entre outros.

Comparativamente com *softwares* de simulação desenvolvidos em décadas anteriores, o SIMUL8 possui tecnologias mais modernas, facilitando o seu uso e diminuindo o tempo de desenvolvimento e análise de modelos de simulação.

3.3 Exemplos de estudos de simulação

Neste ponto pretende-se apresentar estudos semelhantes ao deste trabalho. Embora não seja comum a simulação de cadeias de transporte porta-a-porta, a simulação é amplamente utilizada nas mais diversas áreas.

Sendo pertinente mencionar não apenas estudos publicados na literatura científica mas também dissertações, o presente ponto será dividido em duas partes. Primeiramente, são apresentados cinco estudos de simulação discreta publicados na literatura científica. Posteriormente, são apresentadas duas dissertações de mestrado do IST relevantes no âmbito da presente dissertação.

Posto isto, segue-se a análise de cinco estudos relevantes publicados na literatura científica.

Persson & Olhager (2002)

Neste artigo, Persson & Olhager (2002) apresentam um estudo de simulação de uma cadeia de abastecimento para um caso real, relacionado com a produção de sistemas de comunicações móveis. O estudo apresenta dois objetivos: o primeiro é avaliar cadeias de abastecimento alternativas com a qualidade, *lead times* e custos como principais parâmetros de desempenho. O segundo objetivo é aumentar a compreensão das inter-relações entre estes e outros parâmetros, relevantes para o desenho da estrutura da cadeia de abastecimento. Tal como na maior parte dos estudos da área, os autores dão extrema importância às questões de modelação e validação, pontos fundamentais num estudo de simulação.

As etapas no desenvolvimento deste estudo de simulação envolveram: 1) Planeamento do projeto; 2) Modelo conceptual; 3) Validação do modelo conceptual; 4) Modelação; 5) Verificação; 6) Validação; 7) Análise de sensibilidade, 8) Experimentação e análise dos dados obtidos; 9) Implementação. Este estudo utiliza a simulação de eventos discretos (DES), e é utilizado o *software* Taylor II auxiliado pelo Microsoft Excel para armazenar os dados de *input* e de *output*.

Durante o desenvolvimento deste estudo surgiu um problema: é difícil a validação de um modelo de uma cadeia de abastecimento que engloba mais que uma empresa. Segundo os autores, isto acontece devido à falta de medidas de desempenho de toda a cadeia de abastecimento para comparar com os *outputs* do modelo de simulação. Assim, uma técnica sugerida, e que foi a utilizada, é a validação independente de cada parte do modelo validando, assim, todo o modelo.

Foram simuladas três cadeias de abastecimento designadas por “Antiga”, “Atual” e de “Próxima Geração”, sendo utilizadas medidas de performance que representam os recursos (custos e inventário), os *outputs* (qualidade, *lead time* e variabilidade do *lead time*), e a flexibilidade (*lead time* e variabilidade do *lead time*).

Iannoni & Morabito (2006)

Nas cadeias de abastecimento das agroindústrias, a gestão dos processos de colheita e transporte de matérias-primas dos campos rurais para as fábricas assume um importante papel. Posto isto, Iannoni & Morabito (2006) propuseram-se a aplicar técnicas de simulação discreta para analisar a performance da área de receção de matéria-prima de uma fábrica de açúcar no Brasil, e investigar configurações e políticas alternativas para esta operação. Os autores justificam o uso de técnicas de simulação discreta neste estudo com o grau de complexidade do sistema e o elevado número de fontes de incerteza.

O principal problema identificado é o facto dos meios de transporte da matéria-prima ficarem retidos em filas de espera devido às operações a realizar antes da sua descarga: a pesagem e a recolha de amostras para análise. O tempo despendido nas filas de espera penaliza toda a operação tornando-a mais dispendiosa devido a custos desnecessários com motoristas e combustível.

Os dados utilizados para desenvolver e alimentar o modelo de simulação foram recolhidos no local. A análise dos dados recolhidos permitiu que se fizessem várias suposições que se revelaram acertadas, como considerar o sistema como um sistema fechado (cíclico) em que o tempo médio fora da indústria é representado por distribuições estatísticas que têm em consideração o tempo das viagens para e de os campos das canas-de-açúcar e os tempos de espera e carga nos campos. Em relação à validação do modelo, esta foi feita em duas fases: 1) especialistas e operadores da cadeia de abastecimento foram interrogados sobre a precisão e consistência da simulação; 2) comparação do *output* do modelo de simulação com dados históricos retirados durante a fase de recolha de dados.

Os autores usaram o *software* Arena para a simulação do sistema, embora salientem que existem outras alternativas no mercado igualmente eficazes. Para avaliar o sistema atual e comparar com outros cenários, os autores usaram como medidas de performance os tempos de espera dos camiões, a taxa média de descarga de cana nos moinhos e a carga de trabalho nos moinhos.

Por fim, salientar a opinião dos autores ao referirem, tal como outros, *“a utilidade da simulação ao permitir explorar o sistema real através da modificação de políticas, procedimentos, operações e métodos a relativamente baixo custo e sem interferir no sistema real.”*

Aguirre et al. (2008)

Como foi mencionado em pontos anteriores deste trabalho, a simulação é amplamente utilizada, também, na simulação de processos produtivos, onde assenta o trabalho de Aguirre et al. (2008). O trabalho incide no desenvolvimento e aplicação de um modelo, bem como a sua simulação e otimização, baseado numa estrutura voltada para o processo de produção de um elemento básico de um motor de combustão interna produzido por uma fábrica líder do mercado Latino-Americano. A principal motivação do estudo foi o constante aumento da procura desta peça para os automóveis, levando os gestores da empresa a quererem melhorar a sua produtividade.

Neste trabalho é utilizado a simulação de eventos discretos, e os autores recorrem às principais componentes disponíveis no *software* SIMUL8 para alcançar a representação deste complexo sistema.

Numa primeira fase, os autores definem as principais características do modelo: identificam as matérias-primas, agrupam os produtos produzidos em famílias de produtos, definem o processo de produção e os tamanhos dos lotes produzidos, os horários de trabalho, os recursos (como elevadores hidráulicos ou veículos de transporte), o número de trabalhadores e o tempo da simulação. Em seguida os autores definem as restrições, implementando, então, o modelo desenvolvido no *software*.

A proposta do modelo desenvolvido permite representar e validar os esquemas operativos existentes na empresa, conseguindo, então, determinar os pontos fracos e os pontos de estrangulamento. Além disso, o modelo desenvolvido pode ser utilizado para analisar, testar e prever o comportamento dinâmico do sistema após a introdução de modificações nos esquemas de produção, fornecendo, assim, apoio para a tomada de decisões estratégicas.

Tsekeris & Ntemoli (2011)

O estudo de Tsekeris & Ntemoli (2011) acaba por ser o mais relevante no contexto deste trabalho e consiste na simulação de uma cadeia de abastecimento de uma indústria automóvel de larga escala e intermodal. Para isso, os autores baseiam-se na simulação discreta utilizando o *software* SIMUL8.

Numa primeira fase, a fábrica recebe a matéria-prima necessária ao fabrico dos automóveis. Posteriormente, os automóveis são produzidos e armazenados numa fábrica na Alemanha. Em seguida, é desenvolvida uma rede logística de grande escala, e intermodal, com o objetivo de distribuir eficazmente os automóveis em vários países da Europa. O sistema de transporte inclui um conjunto de rotas de trânsito alternativas e engloba a combinação de três modos de transporte: rodoviário, ferroviário e marítimo.

Neste estudo, cada etapa do procedimento de simulação é apresentada em detalhe, bem como são descritos todos os parâmetros considerados tal como o custo de armazenamento e tempos de transporte. Além da definição destes parâmetros, o modelo desenvolvido tem em conta vários problemas que o sistema real pode apresentar. Exemplo disso é o tempo de viagem de barco ser

definido de forma estocástica assumindo uma distribuição aleatória do possível tempo de atraso (devido ao mau tempo, porto encerrado, entre outros) conseguindo, assim, ter em conta restrições realistas.

O procedimento global visa descobrir, então, a combinação de modos de transporte mais promissoras em termos de custo total (armazenamento e transporte) sujeito a várias restrições, como tempos de entrega, capacidade, e orçamento financeiro. Os resultados das simulações mostram que o modelo desenvolvido pode ser utilizado fácil e eficazmente para comparar e avaliar configurações alternativas da cadeia de abastecimento. Isto acontece pois o modelo desenvolvido considera que a rede de abastecimento é desenvolvida com base nos registos da procura mensal e com a discriminação dos custos de transporte pelos vários meios alternativos (transporte rodoviário, ferroviário e marítimo). Assim, em caso de alterações na procura, ou caso surjam problemas em algum dos modos de transporte (problemas mecânicos, acidentes, encerramento de um porto) o modelo permite facilmente simular e encontrar soluções alternativas, tendo sempre em vista a minimização das necessidades de armazenamento, os tempos de espera nos armazéns, nos portos marítimos e nas estações ferroviárias.

Carteni & Luca (2012)

O estudo de Carteni & Luca (2012) é relevante pois consiste na abordagem de diferentes modelos de simulação de eventos discretos. O estudo é aplicado a um terminal de contentores, sendo o foco sobre a melhor abordagem a adotar para simular a duração da atividade de manuseamento e o nível de detalhe que deve ser seguido face a diferentes horizontes de planeamento.

Os modelos partilham a mesma arquitetura lógica, mas diferem nas abordagens seguidas para estimar a duração da atividade de manuseamento. As operações dos terminais foram divididas em atividades elementares conseguindo, segundo os autores, um nível de desagregação pouco comum na literatura. O tempo de duração de cada atividade elementar de manuseamento foi modelado através de uma abordagem estocástica, distinguindo o tipo de contentores. Em relação à validação, esta foi efetuada tendo em atenção os diferentes horizontes de planeamento.

A principal motivação dos autores foi o facto de na literatura a maioria dos trabalhos existentes se centrarem na aplicação e/ou comparação de cenários e não prestarem a devida atenção à preparação do modelo, à sua calibração e à sua validação. Assim, neste estudo diferentes modelos DES foram especificados, calibrados e validados. Várias questões foram aprofundadas, como a estimativa da média e desvio padrão da duração da atividade para os diferentes tipos de equipamento de manuseamento e para diferentes tipos de contentores resultando, daqui, vários modelos DES.

As principais conclusões retiradas do estudo foram que os valores médios e desvios-padrão da amostra mostram que as diferenças, para o cálculo da duração, entre se considerar que um contentor está cheio ou vazio, ou considerar diferentes tipos de equipamento, são significativas. Como tal, é necessário que a modelação das atividades de manuseamento seja feita através de variáveis aleatórias. Assim, sai reforçada a importância que deve ser dada na estimação dos parâmetros no desenvolvimento de um modelo.

Outra questão analisada foi a calibração do modelo. Segundo os autores, de um ponto de vista estatístico a abordagem da estimativa da Máxima Verosimilhança parece ser a que apresenta melhor

desempenho, embora as funções de distribuição Normal, Gamma e Weibull se mostrem estatisticamente relevantes para interpretar a duração das atividades de manuseamento. Em particular, a variável aleatória Gamma leva a um ajuste de melhor qualidade para todas as atividades de manuseamento e para todos os tipos de contentores.

Por fim, os autores realçam que o modelo DES mostra uma boa capacidade de reprodução e generalização de um cenário nunca antes observado, mostrando robustez e fiabilidade nos dados reproduzidos.

O foco da segunda parte deste capítulo é, como mencionado no início do capítulo, a apresentação e análise de duas dissertações relevantes, ambas realizadas no IST.

Velasco (2012)

A dissertação de Velasco (2012) tem por objetivo a simulação de um caso estudo, baseado em dados reais de um operador logístico de distribuição, considerando todas as atividades e os recursos envolvidos no processo de distribuição.

O processo que a autora pretende simular pode ser descrito da seguinte forma: 1) as lojas encomendam os produtos que precisam, encomendas que chegam ao centro de distribuição via computador; 2) no centro de distribuição, os produtos são agrupados em *carts* para serem carregados no camião e distribuídos para cada loja; 3) quando o camião chega á loja, os *carts* com os produtos são descarregados e, após a última loja, o camião regressa ao centro de distribuição.

Neste caso estudo, são consideradas duas entidades: uma permanente, os camiões, e outra temporária, as encomendas. São descritos os diagramas de ciclo de vida das duas entidades e, posteriormente, é definido o diagrama de ciclo de atividades. Posteriormente, o modelo é implementado no SIMUL8, *software* que a autora descreve como intuitivo pelo facto de permitir criar um modelo visual do sistema através do desenho dos objetos da simulação diretamente no ecrã.

Inicialmente, na implementação e validação do modelo no SIMUL8, o tempo dispendido nas atividades de transporte, carregamento para os camiões, e recepção dos produtos foram consideradas como tendo distribuição normal. O tempo de descarregamento foi considerado como tendo distribuição exponencial, pois o tempo dispendido nesta atividade depende do número de *carts* a descarregar em cada loja. Em todas as outras operações o tempo dispendido foi considerado como tendo distribuição fixa. Após a validação do modelo este foi, então, adaptado ao caso estudo da Jerónimo Martins, sendo que o modelo desenvolvido permite avaliar diferentes configurações para as operações descritas.

Segundo a autora, os resultados obtidos mostram que a simulação baseada em eventos discretos pode ser usada como uma ferramenta de decisão válida para desenvolver e adaptar cadeias de distribuição. Isto deve-se, especialmente, ao facto desta ferramenta conseguir lidar com a inevitável aleatoriedade do mundo real.

Carôco (2013)

A dissertação de Carôco (2013) tem por objetivo desenvolver um modelo de simulação discreta, no *software* SIMUL8, que permita avaliar uma cadeia logística de mercadorias entre as cidades de Lisboa e Porto em termos de custo, tempo e pegada de carbono. Foram definidas três configurações diferentes, envolvendo o modo de transporte rodoviário e ferroviário. As configurações consideradas foram: 1) modo rodoviário direto; 2) modo rodoviário via centro de recolha em Lisboa e via centro de distribuição no Porto; 3) modo rodoferroviário com consolidação e desconsolidação das cargas nas estações de Lisboa e Porto.

No desenvolvimento do modelo, o autor começa por definir as várias variáveis a considerar bem como a descrição das entidades permanentes e temporárias. Após a descrição dos diagramas de ciclo de vida e de atividade das entidades, foi desenvolvido o modelo em SIMUL8. Aqui, o autor salienta o facto de o SIMUL8 permitir a visualização gráfica do sistema modelado, permitindo definir a localização de fábricas, armazéns ou centros de distribuição. Além disso, e sendo um dos focos do estudo a pegada de carbono (PC), o autor refere que o SIMUL8 criou, em 2010, uma ferramenta *user-friendly* com capacidade para calcular o impacto no meio ambiente.

Um problema com que muitos autores se deparam, e que Carôco (2013) não foi exceção, é o fato de que embora as emissões sejam proporcionais à distância, no SIMUL8 são proporcionais ao tempo. A solução para este problema passa pela duplicação do percurso das encomendas em dois ramos: num dos ramos, determinístico, o tempo do sistema é a distância percorrida pelas encomendas (encontrado ao dividir-se a distância pela velocidade) e permite calcular os custos e a PC. No outro ramo, aleatório, o tempo do sistema é o tempo que a encomenda permanece no sistema permitindo, assim, avaliar o nível de serviço.

Com os resultados obtidos, o autor concluiu que o modo ferroviário, quando comparado com o modo rodoviário, é mais competitivo em termos de custo e de PC e menos competitivo em termos de nível de serviço. Dos três modos analisados o modo rodoviário direto é o mais dispendioso e poluidor.

Por fim, notar que o autor considerou apenas o trajeto Lisboa-Porto não considerando a viagem de regresso. Poderia ser interessante encontrar um equilíbrio entre a mercadoria enviada e recebida de forma a considerar, também, esta viagem. Desta forma este estudo encaixar-se-ia melhor num contexto real.

3.4 Conclusões do capítulo

Neste capítulo foram definidos conceitos relevantes, nomeadamente de logística, gestão da cadeia de abastecimento, transporte multi-modal e simulação. Assim:

- A logística tem uma série de atividades, sendo uma das principais o transporte;
- Numa altura em que as empresas competem como cadeias de abastecimento, torna-se fulcral ter uma cadeia de transporte à altura das necessidades;
- A atividade de transporte é responsável pelo transporte das mercadorias de um ponto de origem, a um ponto de destino, via rodoviária, ferroviária, aérea ou marítima;
- Transporte multi-modal é o transporte realizado por dois ou mais meios de transporte. No entanto, no presente trabalho apenas se considera o transporte marítimo, caracterizado por ser lento mas por permitir custos de transporte baixos devido à elevada capacidade de carga;
- A simulação tem por objetivo melhorar ou otimizar o desempenho de um sistema, e garante custos baixos e alta interação entre os diversos componentes do sistema;
- Um sistema é composto por entidades, atributos, atividades, eventos e estados, e um modelo é uma simplificação do sistema real de forma a tornar tratável o seu estudo;
- Um modelo é caracterizado em função da sua natureza, das grandezas representadas, da variável tempo e da natureza do sistema que representa;
- Existem dois tipos de simulação: a simulação de eventos discretos e a simulação de eventos contínuos. Ambas têm diversas aplicações, existindo vários estudos que analisam as suas diferenças;
- A simulação de eventos discretos, que será a utilizada em fases posteriores deste trabalho, representa entidades individuais que se movem através de uma série de filas e atividades em pontos discretos no tempo.

Na parte final deste capítulo foram apresentados estudos de simulação publicados na literatura científica, e duas teses de mestrado do IST, envolvendo simulação discreta. Da análise de todos estes estudos, resultou a conclusão da versatilidade da simulação de eventos discretos e do *software* SIMUL8. Ambos são utilizados nas mais variadas áreas como a simulação de processos produtivos, a simulação da performance de cadeias de abastecimento ou, como é o âmbito desta dissertação, a simulação de cadeias de transporte. De todos os estudos analisados todos os autores referem que deve ser dada extrema importância ao desenvolvimento do modelo, com ênfase na definição de parâmetros, e na sua verificação e validação.

Por fim importa referir que, efetivamente, não é comum o uso da simulação de cadeias de transporte porta-a-porta. Não foi encontrado na literatura nenhum estudo que envolvesse um transporte marítimo, porta-a-porta, com vista a concluir sobre a regularidade ideal do serviço, a velocidade do navio ou mesmo o número de navios a considerar. Assim, este facto acaba por tornar este trabalho não só pertinente como, também, inovador.

4 Caso de estudo

4.1 Introdução

A presente dissertação tem por objetivo a simulação de uma cadeia de transporte de mercadorias entre o porto de Leixões e o porto de Luanda. Para o desenvolvimento de um modelo de simulação que seja adequado a um sistema real é necessário um exaustivo levantamento de dados. Para isso, este trabalho foi realizado em parceria com a empresa FORDESI – Formação, Desenvolvimento e Inovação, SA.

A FORDESI, fundada no ano de 1988, tem por objetivo a prestação de serviços de consultoria em gestão de empresas, formação, investigação e transferência e gestão de tecnologias. Sendo um dos *core business* da empresa o sector marítimo-portuário, onde desenvolveu alguns dos projetos estruturantes mais relevantes do setor, esta parceria revelou-se fulcral para o desenvolvimento deste trabalho.

De forma a encadear este trabalho, este capítulo foi dividido em duas fases. Numa primeira fase, é apresentada a situação/realidade atual no que diz respeito à regularidade e duração do transporte entre o porto de Leixões e o porto de Luanda. É feito um levantamento das linhas de navegação existentes, dos armadores responsáveis pelo transporte, bem como as escalas que efetuam. De notar que toda a informação apresentada tem como referência base o Estudo de Mercado no Âmbito do Espaço CPLP, da FORDESI (2013).

Na segunda fase é descrito o desenvolvimento da simulação. Aqui são seguidos os passos sugeridos por Porta Nova (2008) apresentados na revisão de literatura. Em suma, os passos são: 1) Formulação do problema; 2) Desenvolvimento do modelo; 3) Recolha e análise de dados relevantes; 4) Construção do modelo (no caso deste trabalho, no SIMUL8); 5) Verificação do modelo; 6) Validação do modelo; 7) Planeamento das experiências; 8) Análise dos resultados. Esta dissertação termina neste ponto estando fora do âmbito deste trabalho a implementação dos resultados (o ponto 9).

4.2 Realidade atual

Como mencionado na introdução deste capítulo, este ponto descreve a situação atual no que diz respeito ao transporte entre o porto de Leixões e o porto de Luanda.

Atualmente existem 7 linhas de navegação entre Portugal e Angola, das quais duas são via São Tomé e Príncipe. No âmbito da presente dissertação, apenas faz sentido identificar as linhas de navegação que fazem escala no porto de Leixões e no porto de Luanda, e que têm como tráfego contentores.

Com estes critérios foram identificadas 3 linhas de navegação. A tabela abaixo, tabela 4.1, identifica toda a informação relevante sobre essas linhas.

Tabela 4.1: Linhas de Navegação entre o porto de Leixões e o porto de Luanda

Linha Regular	Armador / Agente de Navegação	Portos	Tempos de Trânsito	Viagem Leixões -> Luanda	Periodicidade
Angola Shuttle	CMA CGM PORTUGAL - Agentes de Navegação, SA	Leixões Lisboa Tânger Abidjan Pointe Noire Lobito Luanda	0 1 3 11 14 16 22	22 dias	10 dias
MAERSK LINE - WAF 5	MAERSK Portugal - Agentes de Transportes Internacionais, Lda	Vigo Leixões Lisboa Algeciras Tânger Luanda Walvis Bay San Pedro	3 4 7 10 12 25 33 37	21 dias	Semanal
NILEDUTCH	MARMEDSA - Agência Marítima, Lda	Amesterdão Antuérpia Le Havre Leixões Lisboa Pointe Noire Luanda Lobito Namibe	0 2 5 10 12 23 27 32 35	17 dias	Quinzenal

Pela análise da tabela é possível concluir que a periodicidade destas linhas varia de 10 dias a quinzenal, e a duração da viagem entre Leixões e Luanda varia de 17 a 22 dias. No entanto estes valores dizem respeito ao transporte entre o porto de Leixões e o porto de Luanda, não sendo igual no sentido inverso.

Não sendo possível obter as durações das viagens entre o porto de Luanda e o porto de Leixões no Estudo de Mercado no Âmbito do Espaço CPLP, da FORDESI (2013), tentou-se junto de grandes armadores como a Maersk e a Niledutch obter uma estimativa da duração desta viagem. As estimativas apresentadas rondam sempre os 30 dias. Ou seja, se uma empresa pretender enviar um contentor de Leixões para Luanda poderá consegui-lo entre 17 a 22 dias. No entanto, se pretender enviar um contentor de Luanda para Leixões o tempo será de cerca de 30 dias, o que é substancialmente superior. Estes tempos são justificados pelas diversas escalas efetuadas.

Assim, pretende avaliar-se a viabilidade do transporte Leixões-Luanda e Luanda-Leixões ser feito porta-a-porta (sem escalas) em termos de regularidade do serviço e de níveis de ocupação do navio. Para isso, o transporte será assegurado por um ou mais navios (a analisar) cuja função é apenas a realização da viagem Leixões-Luanda e vice-versa.

4.3 Desenvolvimento da simulação

4.3.1 Formulação do problema

O sistema que se pretende simular tem por objetivo o transporte de contentores entre o porto de Leixões e o porto de Luanda (e vice-versa). Para isso, neste modelo são considerados dois tipos de contentores genericamente definidos por “Contentor 1” e “Contentor 2”:

- **Contentor 1** - entra no sistema no porto de Leixões antes de ser inspecionado e sai do sistema no porto de Luanda depois de ser verificado;
- **Contentor 2** - entra no sistema no porto de Luanda antes de ser inspecionado e sai do sistema no porto de Leixões depois de ser verificado.

De notar que apenas uma percentagem dos contentores são inspecionados/verificados.

O transporte dos contentores é assegurado por um navio que se dedica exclusivamente ao seu transporte, sendo que o navio faz a viagem entre o porto de Leixões e o porto de Luanda sem efetuar qualquer escala. O esquema da figura 4.1 pretende deixar claro o sistema que se pretende simular.

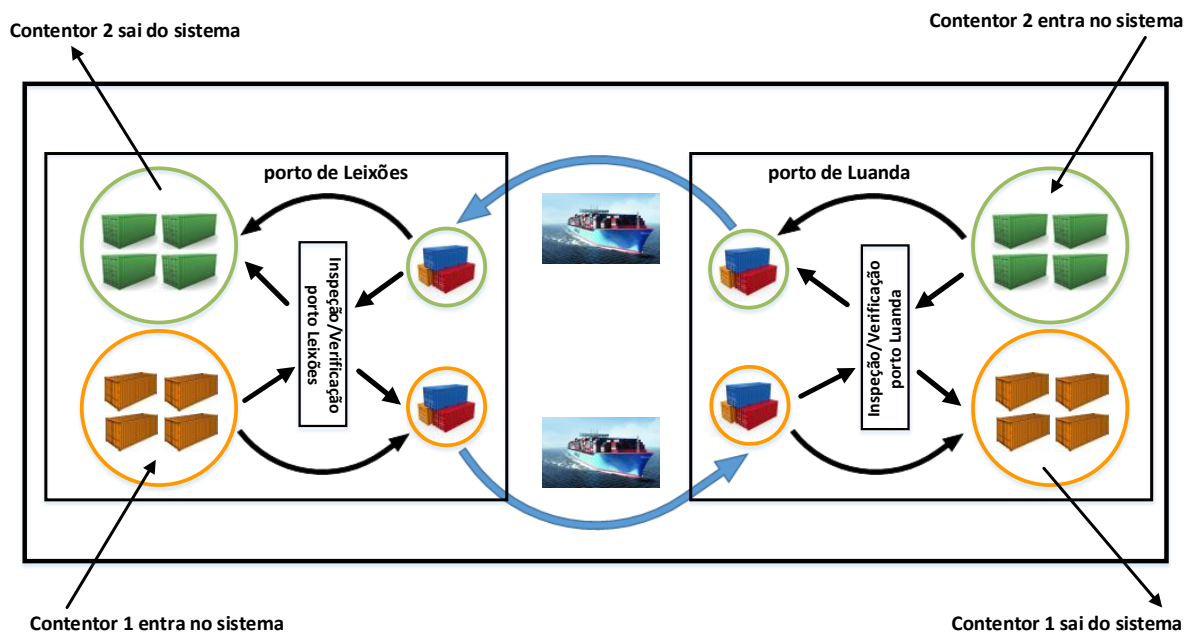


Figura 4.1: Esquema do sistema a simular

Atualmente, o processo de alfandegamento tanto no porto de Leixões como no porto de Luanda é feito no portal da Autoridade Tributária sendo depois o ficheiro transferido para a Janela Única Portuária¹ (JUP). Este sistema veio agilizar o processo de alfandegamento, sendo hoje possível um contentor chegar ao porto já alfandegado. Assim, a atividade de alfandegamento deixou de ser pertinente para o modelo a desenvolver optando-se, para que o modelo se aproxime da realidade atual, por considerar apenas a atividade de inspeção/verificação.

¹ Plataforma eletrónica que implementa o conceito de balcão único virtual, sendo o ponto único de contacto no porto onde os agentes económicos entregam a informação em formato eletrónico e esta flui para todas as entidades relacionadas.

4.3.2 Desenvolvimento do modelo

Nesta fase pretende fazer-se a identificação das entidades relevantes do modelo bem como apresentar os Diagramas de Ciclo de Vida das entidades e o Diagrama de Ciclo de Atividades do sistema. Estes passos são fundamentais antes da criação de um modelo num *software* adequado.

4.3.2.1 Identificação de entidades relevantes

Para modelar o sistema que se pretende simular torna-se necessário, primeiramente, definir as entidades relevantes que formam o seu universo. De lembrar que, como mencionado no ponto 3.3.1 desta dissertação, entidades são objetos de interesse no sistema. São, no fundo, elementos básicos que interagem uns com os outros em ordem a atingir certos objetivos. Assim, os estados do sistema são condicionados pela situação em que as entidades se encontram.

Posto isto foram definidos dois tipos de entidades de acordo com as suas interações com o sistema: as entidades permanentes, que estão sempre no sistema, e as entidades temporárias, que entram e saem do sistema durante o tempo de simulação. Assim foram identificadas as seguintes entidades:

Entidades permanentes:

- Navio

Entidades temporárias:

- Contentor 1
- Contentor 2

4.3.2.2 Diagramas de Ciclo de Vida das entidades

Os Diagramas de Ciclo de Vida (DCV) das entidades correspondem a uma alternância entre estados ativos (retângulos que representam atividades em execução por parte das entidades) e estados passivos (círculos que representam filas de espera onde as entidades permanecem até seguirem para a realização da atividade seguinte de um processo). Trata-se de um modelo comunicativo e de fácil assimilação tornando-se uma mais-valia na clarificação do modelo de simulação (Porta Nova, 2008).

DCV's das Entidades Temporárias

As figuras abaixo, figura 4.2 e figura 4.3, apresentam o DCV do Contentor 1 e o DCV do Contentor 2, respetivamente.

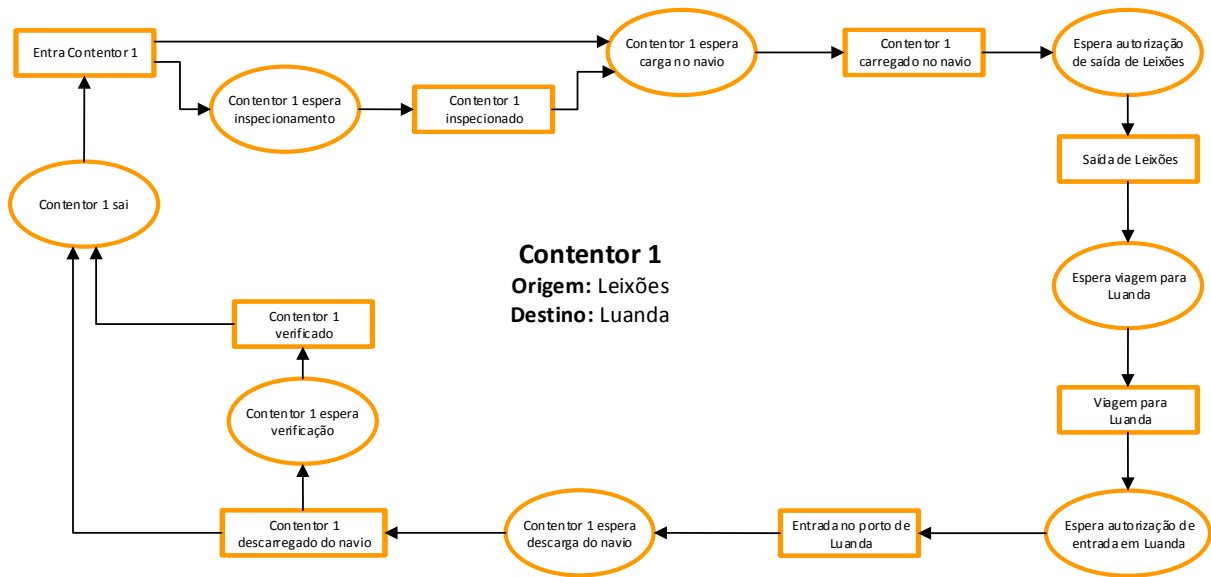


Figura 4.2: Diagrama de ciclo de vida do Contentor 1

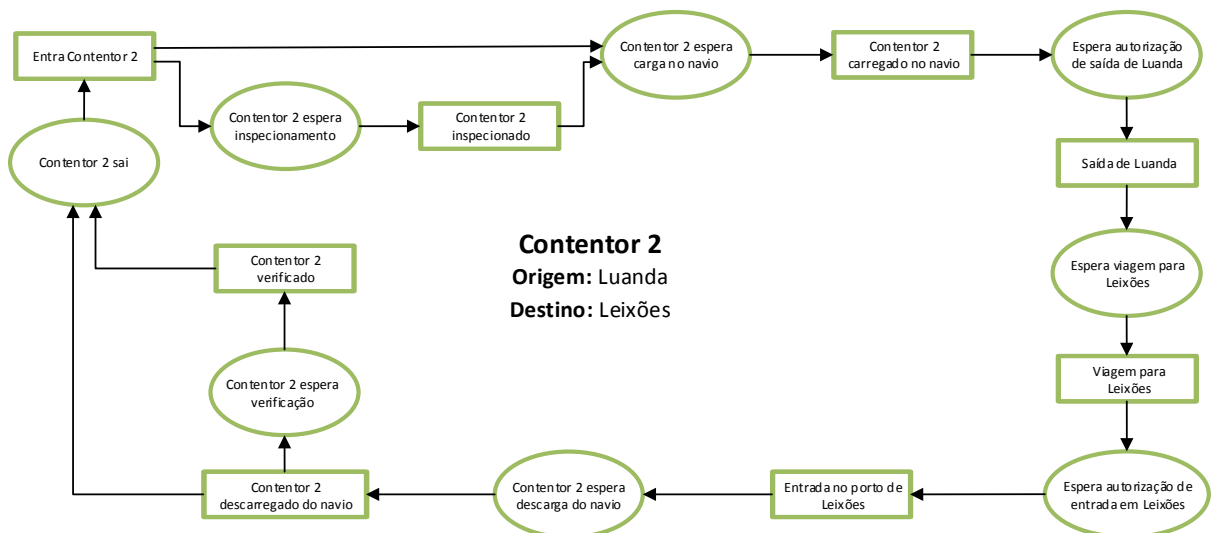


Figura 4.3: Diagrama de ciclo de vida do Contentor 2

Focando-se na figura 4.2 correspondente ao DCV do Contentor 1: o Contentor 1 entra no sistema com uma certa probabilidade de ser, ou não, inspeccionado. Se tiver de ser inspeccionado aguardará na fila “Contentor 1 espera inspeccionamento” sendo depois inspeccionado. Se não passará automaticamente para a fila “Contentor 1 espera carga no navio”. Em seguida o Contentor 1 é carregado no navio aguardando a saída do porto de Leixões. Após a saída do porto o contentor segue para Luanda onde, ao chegar, aguardará pela autorização de entrada no porto. Segue-se a entrada no porto e o descarregamento do contentor do navio. Mais uma vez, aqui existe uma certa probabilidade de o contentor ser verificado: se tiver de ser verificado aguardará na fila “Contentor 1 espera verificação”

antes de ser verificado e, depois, sair do sistema; senão tiver de ser verificado, o contentor sai logo do sistema.

O DCV do Contentor 2, representado na figura 4.3, é semelhante ao do Contentor 1 sendo a diferença o facto do Contentor 2 ter como origem Luanda e destino Leixões.

DCV da Entidade Permanente

Como já referido, a função do navio é apenas fazer o transporte dos Contentores 1 e dos Contentores 2. Assim, uma viagem do navio engloba:

- Carregamento dos contentores;
- Saída do porto (engloba tempo de receber autorização bem como as manobras a realizar no porto);
- Viagem entre Leixões e Luanda (ou vice-versa);
- Entrada no porto (engloba tempo de receber autorização bem como as manobras a realizar no porto);
- E, por fim, o descarregamento dos contentores.

Assim, a figura 4.4 apresenta o DCV do Navio, a entidade permanente do sistema.

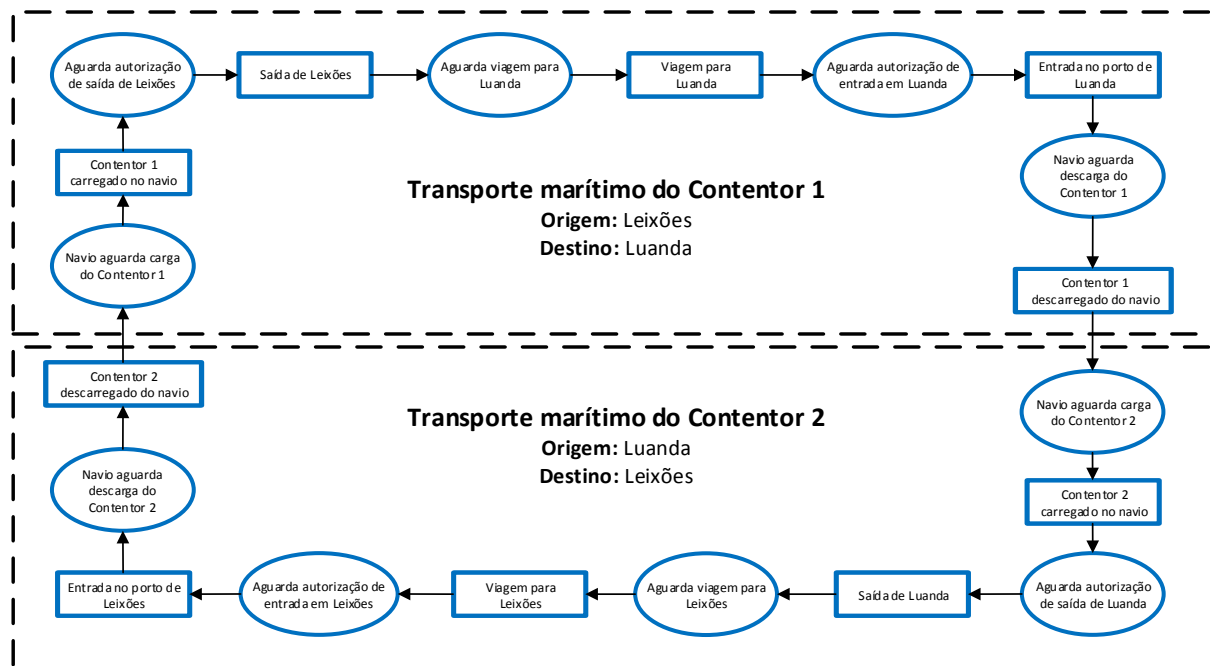


Figura 4.4: Diagrama de ciclo de vida do Navio

4.3.2.3 Diagrama de Ciclo de Atividades

O Diagrama de Ciclo de Atividades do sistema (DCA) envolve os ciclos de vida de todas as entidades relevantes do sistema bem como a dinâmica das suas interações. Assim, é com base nos DCV e no DCA das entidades que se procede à criação do modelo num *software* adequado que, no caso deste trabalho, é o SIMUL8.

A figura 4.5, da página seguinte, mostra, então, o DCA do sistema. Focando-se no diagrama torna-se fácil identificar os ciclos de vida das entidades e as suas interações:

- A laranja surge o ciclo de vida do Contentor 1;
- A verde surge o ciclo de vida do Contentor 2;
- A azul surge o ciclo de vida do Navio.

Por fim, a preto surgem as interações entre as entidades, mais especificamente as interações entre o Navio e o Contentor 1 e entre o Navio e os Contentor 2.

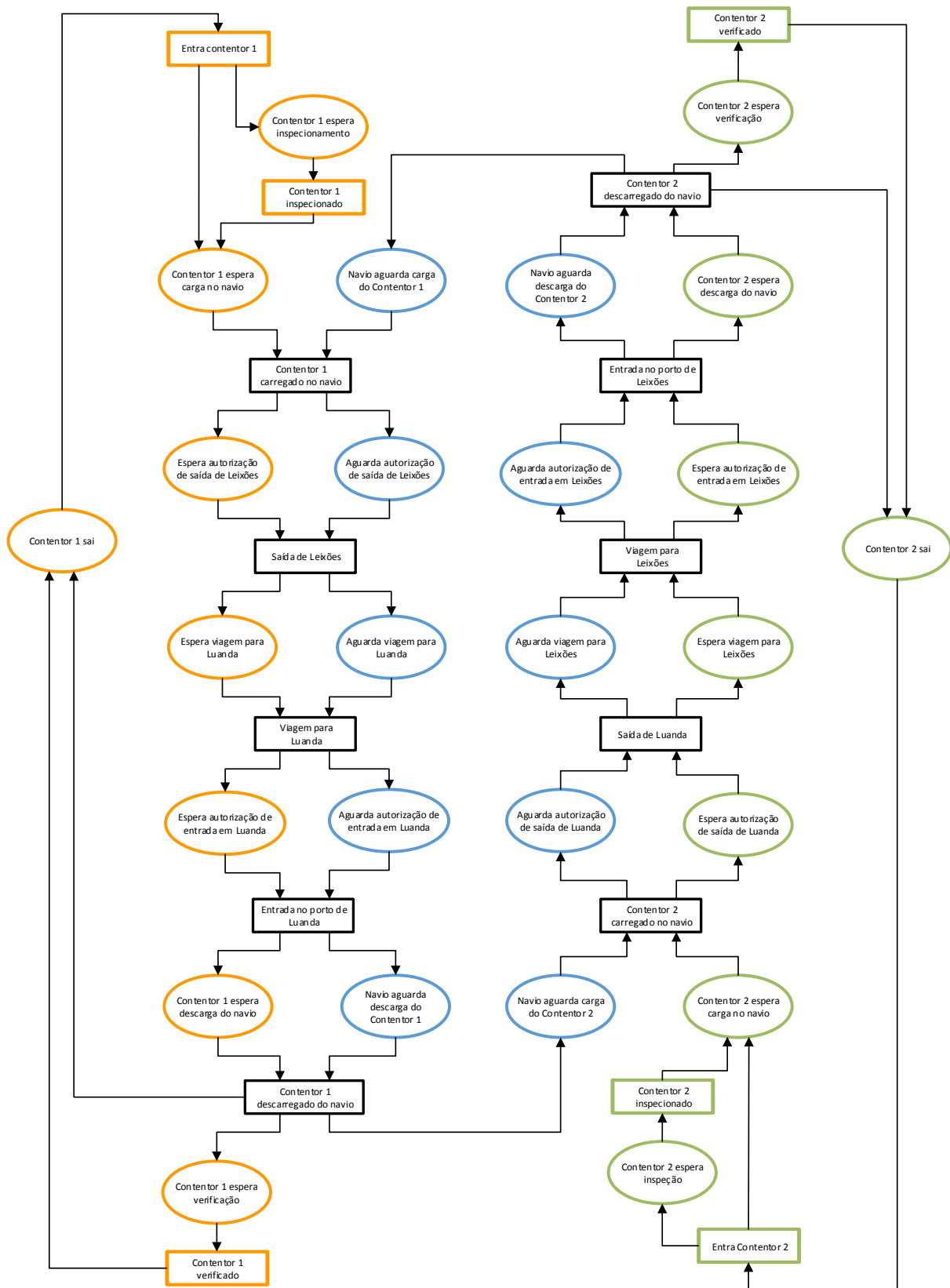


Figura 4.5: Diagrama de ciclo de atividades do sistema

4.3.3 Recolha e análise de dados relevantes

Neste ponto pretende-se apresentar os dados recolhidos e que servem de base ao desenvolvimento do modelo de simulação. De forma a se conseguir um modelo fidedigno, ou seja, que seja uma boa representação do sistema real, os dados a utilizar têm de ser reais, ou realistas, de forma a se obterem resultados coerentes com a realidade.

Assim, no que se refere à mercadoria transacionada entre o porto de Leixões e de Luanda foi utilizado como fonte o Estudo de Mercado no Âmbito do Espaço CPLP, da FORDESI (2013), onde foi feita uma simplificação dos dados de forma a se obter uma aproximação do número de contentores que entram no sistema por hora. Já os dados referentes às atividades desenvolvidas dentro do porto, nomeadamente os horários de funcionamento, as operações de carregamento e descarregamento, bem como a entrada e saída do porto e número de contentores a inspecionar/verificar, foram obtidos junto do porto de Leixões. Assim, apresenta-se de seguida os dados recolhidos e que serviram de base ao desenvolvimento do modelo de simulação.

Horário de funcionamento

Tanto o porto de Leixões como o porto de Luanda recebem contentores de segunda a sexta-feira das 08:00h às 24:00h. No entanto, o porto opera 24 horas por dia, 7 dias por semana.

Taxa de entrada de contentores no sistema

Para se calcular a taxa de entrada de contentores no sistema começou-se por identificar o movimento mensal de contentores entre o porto de Leixões e de Luanda, apresentados na tabela 4.2.

Tabela 4.2: Mercadoria, em toneladas, transacionada entre o porto de Leixões e o porto de Luanda

Valores em toneladas

Mês	Sentido Leixões -> Luanda	Sentido Luanda -> Leixões
Janeiro	48284	5778
Fevereiro	38873	3567
Março	51616	8451
Abril	34187	4610
Mai	52865	5600
Junho	46039	8988
Julho	57768	5270
Agosto	46348	7212
Setembro	72264	10309
Outubro	100364	8630
Novembro	114993	16546
Dezembro	108033	15384
TOTAL	771634	100345

Para a realização desta dissertação apenas se teve acesso aos dados do ano de 2012, não sendo possível concluir com exatidão se, efetivamente, a carga contentorizada transportada varia regularmente em função dos meses do ano.

Assim, foi considerado apenas o valor anual, em toneladas, de mercadoria contentorizada a transportar. Pela análise da tabela 4.2 conclui-se que esse valor foi:

- **771 634 toneladas** no sentido Leixões-Luanda;
- **100 345 toneladas** no sentido Luanda-Leixões.

Torna-se necessário, agora, analisar a capacidade de cada contentor. As duas medidas mais usuais de contentores são as medidas *standard* de 20 e 40 pés de comprimento. As medidas de largura e de altura são iguais para os dois contentores: 8 pés de largura, e 8 pés de altura.

No âmbito desta dissertação são considerados contentores de 20 pés. Além disso, foi assumido que:

- A carga máxima que este contentor pode transportar é de 21 770 kg;
- O contentor circula com 75% da sua capacidade ocupada (devido à densidade da carga é pouco comum o contentor circular com a sua capacidade máxima ocupada);
 - O contentor transporta, então, 16 328 kg de mercadoria.

Com estes dados torna-se possível obter o número de contentores a transportar:

Nº Contentores 1 (a transportar de Leixões para Luanda):

$$n^{\circ} \text{ Contentores } 1 = \frac{771\,634 \text{ ton/ano}}{16\,328 \text{ ton/contentor}} \approx 47\,259 \text{ contentores/ano} \quad (1)$$

Nº Contentores 2 (a transportar de Luanda para Leixões):

$$n^{\circ} \text{ Contentores } 2 = \frac{100\,345 \text{ ton/ano}}{16\,328 \text{ ton/contentor}} \approx 6\,146 \text{ contentores/ano} \quad (2)$$

Como mencionado no início deste capítulo, o porto de Luanda e de Leixões recebem contentores de segunda a sexta-feira (dias úteis, portanto) das 08:00 h às 24:00 h, ou seja 16h por dia. Partindo-se do princípio que um mês tem 22 dias úteis, e que 1 ano tem 12 meses, torna-se possível obter que a taxa de chegada de contentores ao sistema é, aproximadamente:

- **Contentores 1:** 1 contentor a cada 5 minutos;
- **Contentores 2:** 1 contentor a cada 40 minutos.

Inspeção de contentores em Leixões, com destino a Luanda:

São inspecionados cerca de 1% dos contentores. Esta atividade tem uma duração que varia entre 4 e 6 horas.

Verificação de contentores em Luanda, provenientes de Leixões:

São verificados cerca de 2% dos contentores. Esta atividade tem uma duração que varia entre as 4 e as 12 horas.

Inspeção de contentores em Luanda, com destino a Leixões:

São inspecionados 2% dos contentores. Esta atividade tem uma duração que varia entre as 4 e as 12 horas.

Verificação de contentores em Leixões, provenientes de Luanda

São verificados cerca de 4% dos contentores. Esta atividade tem uma duração que varia entre as 2 e as 8 horas.

Navio – capacidade e velocidade. Distância entre Leixões e Luanda

Para descrever a capacidade de carga de um navio é usado, frequentemente, a unidade padrão TEU. TEU, sigla para *Twenty-foot Equivalent Unit*, refere-se ao volume padrão de um contentor de 20 pés.

Os navios são, então, agrupados em classes de acordo com a sua capacidade máxima, pelo que a tabela 4.3 indica as categorias de porta-contentores em função do número de TEU que conseguem transportar.

Tabela 4.3: Categorias de porta-contentores de acordo com a sua capacidade

Categoria	TEU
Feeder	100-499
Feedermax	500-999
Handy-size	1000-1999
Sub-Panamax	2000-2999
Panamax	3000-4500
Post-Panamax	>4500

A título de curiosidade, os maiores porta-contentores da atualidade pertencem à chinesa China Shipping Container Lines, com capacidade para 18 400 TEU. Seguem-se os porta-contentores da MAERSK, com capacidade para 18 000 TEU.

Em relação às velocidades do navio, estas são divididas em quatro categorias:

- **Normal (20-25 nós)** – representa a velocidade de cruzeiro ideal de um porta-contentores, sendo que o seu motor foi desenvolvido para navegar dentro desta velocidade. A maioria dos porta-contentores são desenvolvidos para navegar em velocidades a rondar os 23 nós;
- **Slow steaming (18-20 nós)** – navegação abaixo da velocidade normal com o intuito de conseguir poupanças de combustível. Cerca de 50% dos navios começaram a navegar a estas velocidades desde a crise global de 2011;

- **Extra slow steaming (15-18 nós)** – também denominado por velocidade económica. Esta diminuição abrupta da velocidade tem o propósito de conseguir o mínimo combustível gasto possível. É aplicado, essencialmente, em rotas curtas;
- **Custo mínimo (12-15 nós)** – velocidade mínima possível a partir da qual qualquer decréscimo não obtém poupança de combustível. Todavia, os níveis de serviço conseguidos a esta velocidade são comercialmente inaceitáveis, sendo pouco usuais pelas companhias marítimas.

Neste trabalho são consideradas diferentes velocidades de forma a avaliar o impacto desta componente nos níveis de serviço apresentados. Assim, a velocidade, bem como a capacidade, do navio a utilizar são detalhadas nas próximas fases deste trabalho. Por fim, interessa saber a distância entre o porto de Leixões e o porto de Luanda, que foi considerada como sendo 7 500 km.

Tempo de carregamento e descarregamento do navio:

Em Leixões são carregados/descarregados cerca de 40 contentores por hora. Em Luanda este tempo é um pouco inferior, sendo carregados/descarregados cerca de 30 contentores por hora.

Tempo de entrada e saída do porto de Leixões:

Entre autorizações e manobras físicas, o tempo médio é cerca de 1,5 horas.

Tempo de entrada e saída no porto de Luanda:

Aqui, devido aos problemas de congestionamento, não foi possível obter valores exatos.

No entanto, no que toca ao tempo de entrada no navio, todos os prognósticos apontam para 2 horas na melhor das hipóteses, podendo ir até às 24 horas. No entanto o mais comum é serem 7 horas.

A saída do porto tem uma duração menor, podendo ir das 2 horas às 10 horas, sendo o mais comum a duração ser de 4 horas.

4.3.4 Construção do modelo em SIMUL8

Dada a complexidade associada ao modelo a desenvolver optou-se, aqui, por considerar todas as atividades com um tempo fixo. Assim, ao longo do seu desenvolvimento torna-se mais intuitivo analisar se o modelo está a fazer o que se pretende, ou não.

De realçar que, como mencionado na revisão de literatura, não é comum a simulação de cadeias de transporte porta-a-porta, o que dificultou o processo de desenvolvimento. De todas as dificuldades encontradas durante a fase de desenvolvimento do modelo, nenhuma foi mencionada pelos autores dos estudos analisados, pelo que o modelo foi, realmente, feito todo de raiz. Assim, neste capítulo pretende-se apresentar o processo realizado durante o desenvolvimento do modelo partindo dos DCV das entidades e do DCA do sistema.

O modelo desenvolvido é composto por dois “troços” semelhantes: um diz respeito ao percurso entre Leixões e Luanda, enquanto o outro diz respeito ao percurso entre Luanda e Leixões. De forma a tornar

claro o raciocínio utilizado durante a fase de desenvolvimento do modelo, a figura 4.6 apresenta um troço semelhante aos que se pretendem obter, seguindo-se a explicação do processo de desenvolvimento do modelo. Por fim, este subcapítulo termina com a apresentação da totalidade do modelo construído no SIMUL8, que pode ser consultado na página 53.

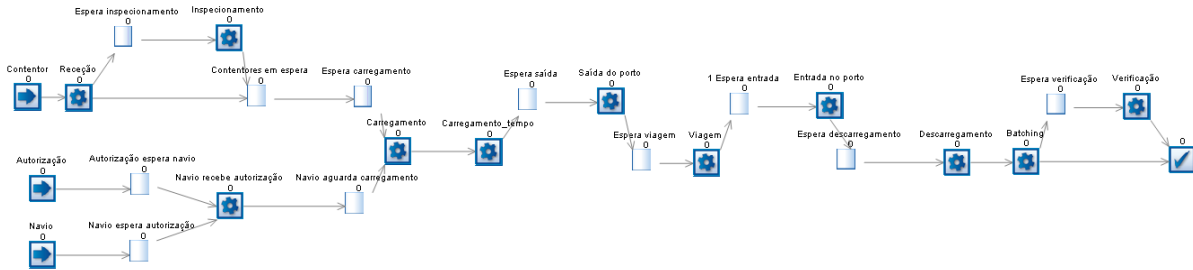


Figura 4.6: Esquema de um troço semelhante ao que se pretende obter no SIMUL8

Uma das capacidades do SIMUL8 é o facto de permitir “imitar” o *layout* de uma fábrica ou outra organização. Para isso o SIMUL8 assume que as distâncias entre atividades e filas de espera devem ser refletidas, pelo que assume que esta distância está relacionada com a distância da tela. No entanto, para muitas simulações, onde se engloba a do presente trabalho dado a distância/tempo entre atividades e filas serem residuais, é melhor não serem considerados *Travel Times*. Foi precisamente por aqui que se começou a desenvolver o modelo: por configurar os *Travel Times* para zero. Realçar que basta fazer este processo uma vez sendo válido para o resto da simulação.

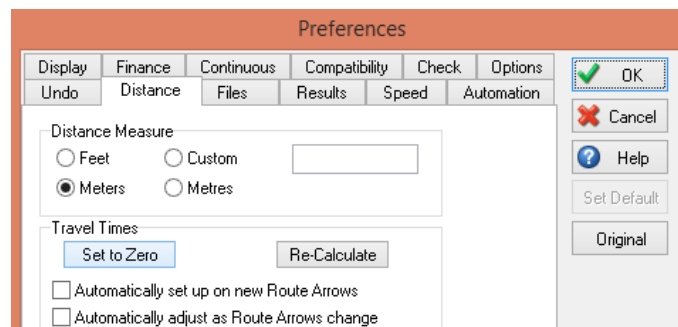


Figura 4.7: Configuração dos tempos de viagem para zero

Os portos de Leixões e de Luanda funcionam 24 horas por dia, 7 dias por semana. Assim, torna-se necessário definir este horário no modelo. Este processo é feito através das *Clock Properties*, definindo-se a hora de início do dia para as 00:00h, a duração do dia para 24:00h e os dias por semana para 7 dias.

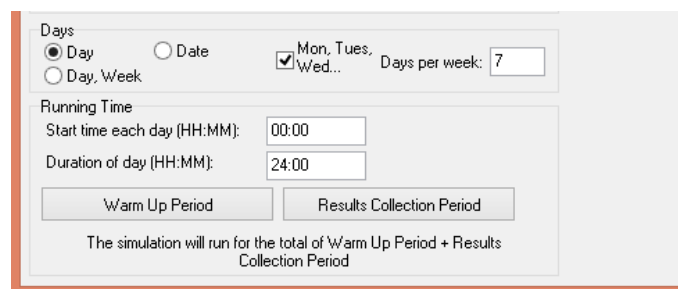






Figura 4.8: Configuração da duração do dia do modelo

Após estes passos iniciais começou-se por introduzir e configurar os *Start Point*, as *Queue*, as *Activity* e os pontos de saída do sistema (*End*).

Tabela 4.4: Ícones do SIMUL8

	Start Point	Onde os work items chegam ao Sistema.
	Queue	Onde os work items esperam até serem processados.
	Activity	Onde os work items são processados.
	End	Onde os work items deixam o Sistema.

Contentores (Start Point)

Como referido, optou-se por desenvolver este modelo, numa fase inicial, com valores fixos. Assim adicionou-se um primeiro *Start Point*, chamado “Contentores 1”, onde irão entrar no sistema os contentores com destino a Luanda. A taxa de entrada considerada, nesta fase, foi 1 a cada 10 minutos.

Nota: todas as atividades/filas com o número 1 no nome significa que estão relacionadas com os Contentores 1 que, relembre-se, têm origem em Leixões e destino Luanda. Por outro lado, todas as atividades/filas com o número 2 no nome estão relacionadas com os Contentores 2. Assim, e sendo os dois troços semelhantes, apresenta-se a fase de desenvolvimento do percurso entre Leixões e Luanda.

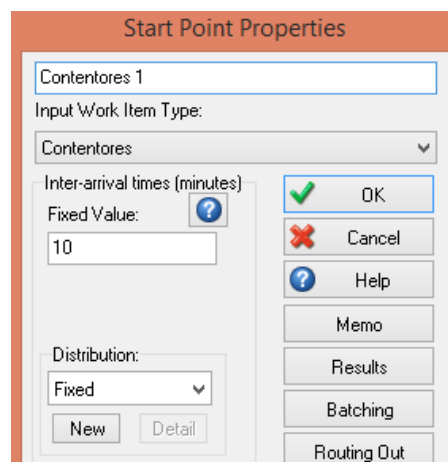


Figura 4.9: Configuração do *Start Point* “Contentores 1”

Receção (Activity)

Segue-se uma atividade fictícia, “1 Receção”. Esta atividade, com tempo zero, tem duas funções:

- 1) Assegurar que só entram no sistema contentores entre as 08:00h e as 24:00h, de segunda a sexta-feira. Para isso introduziu-se um turno nesta atividade. Este turno é adicionado recorrendo à opção “Shifts” da atividade “1 Receção”. Adicionou-se, então, um turno com o nome “Horário de receção de contentores”, com padrão semanal.

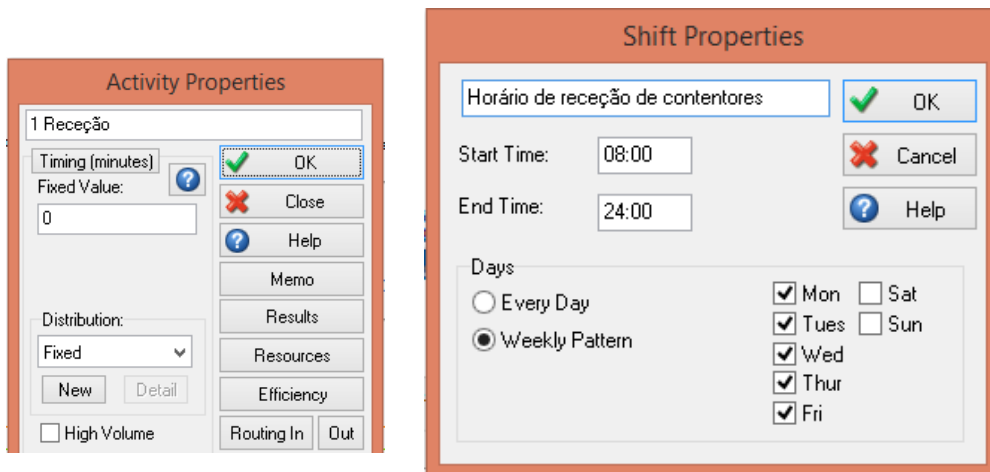


Figura 4.10: Configuração do horário de recepção de contentores

Desta forma, entre as 00:00h e as 08:00h os contentores são rejeitados, não entrando no sistema.

- 2) Indicar quais os contentores que terão de ser inspecionados. Relembrar que apenas uma certa probabilidade dos contentores são inspecionados (considerou-se 10% durante a fase de desenvolvimento do modelo). Para isso utiliza-se a opção “*Routing Out*”. Esta opção define qual a “regra” que os *work items* seguem para deixar a atividade. Assim escolheu-se a opção “*Percent*”, em que 10% dos contentores são encaminhados para a fila “1 Espera inspeccionamento” e os restantes 90% seguem para a fila “1 Contentores em espera”.

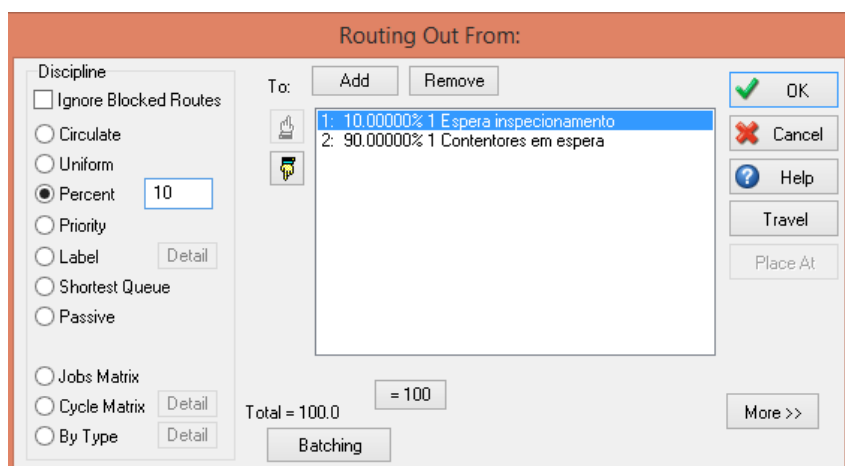


Figura 4.11: Definição da percentagem de contentores a inspecionar

Espera inspeccionamento (Queue) e Inspeccionamento (Activity)

Os contentores que terão de ser inspecionados vão aguardar na fila “1 Espera inspeccionamento”. Quando a atividade “1 Inspeccionamento” estiver livre o contentor segue, então, para a inspeção. Durante esta fase considerou-se que esta atividade demora 2 horas (120 minutos).

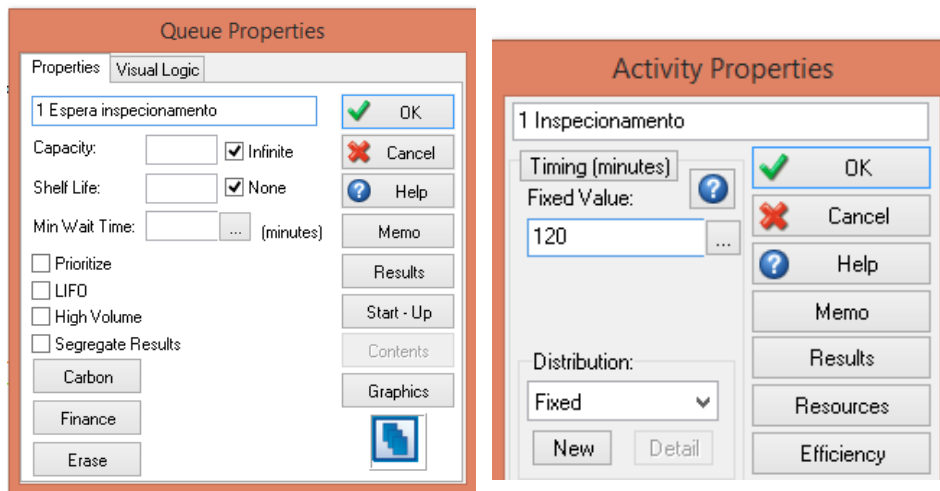


Figura 4.12: Fila “1 Espera inspeccionamento” e atividade “1 Inspeccionamento”

Contentores em espera (Queue) e Espera carregamento (Queue)

Seguem-se duas filas de espera: a fila “1 Contentores em espera” e a fila “1 Espera carregamento”. O navio responsável pelo transporte dos contentores terá uma certa capacidade, que no desenvolvimento do modelo considerou-se ser 100 contentores de forma a facilitar a sua verificação. Para isso foi necessário, então, a criação destas duas filas.

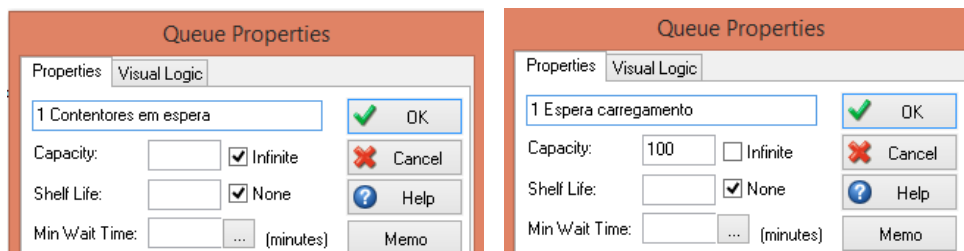


Figura 4.13: Configuração de filas de forma a respeitar a capacidade máxima do navio

A fila “1 Espera carregamento” terá como capacidade a capacidade máxima do navio. Assim que esta fila estiver cheia os contentores irão aguardar, então, na fila “1 Contentores em espera”, esta com capacidade infinita. Quando o navio estiver livre, serão carregados apenas os contentores que estiverem na fila “1 Espera carregamento” cujo número será, no máximo, a capacidade máxima do navio. Desta forma, então, assegura-se que a capacidade máxima do navio é respeitada.

Carregamento (Activity), Navio (Start Point), Navio espera autorização (Queue), Autorização Leixões (Start Point), Autorização espera navio, Navio recebe autorização_Leixões (Activity), Carregamento_tempo (Activity)

Foi na atividade de carregamento, em que se pretende que os contentores sejam carregados para o navio, que surgiram as principais dificuldades. Primeiro porque os contentores só podem ser carregados quando o navio estiver disponível, segundo porque o número de contentores a carregar não é um valor fixo.

Aquilo que se pretende nesta atividade é que todos os contentores e o navio se juntem apenas num *work item*, pois só assim se pode fazer uma simulação realística da viagem. Em relação à disponibilidade do navio pensou-se, inicialmente, em criar um recurso. Ou seja, as atividades associadas ao transporte só ocorreriam quando o recurso estivesse disponível. No entanto esta solução apresentou uma contrariedade: o que se pretende é que o navio faça viagens ida e volta não sendo possível, naturalmente, que o navio faça duas vezes seguidas o mesmo percurso (ou seja, que faça duas vezes seguidas o percurso Leixões-Luanda ou duas vezes seguidas o percurso Luanda-Leixões). Mas o que se verificou é que bem o recurso estando disponível era alocado a qualquer uma das viagens, não obedecendo ao que se pretendia. É possível que haja maneira de contornar esta situação, mas face a este problema optou-se por procurar uma solução algo mais simples.

A solução encontrada passou por no início da simulação fazer entrar os navios que se pretende para o sistema. Para isso criou-se o *Start Point* “Navio”. Para assegurar que o navio entra assim que começa a simulação selecionou-se a opção “*First at start time*”, e para assegurar que o navio entra apenas no início da simulação indicou-se um número muito grande (superior ao da simulação) para o tempo entre chegadas. Assim o navio entra no início da simulação e permanece no sistema o tempo todo que é, como já referido, a função de uma entidade permanente. Durante o desenvolvimento do modelo optou-se por usar apenas um navio, mas caso se quera fazer entrar mais que um navio é só indicar o número pretendido na opção “*Batching*”.

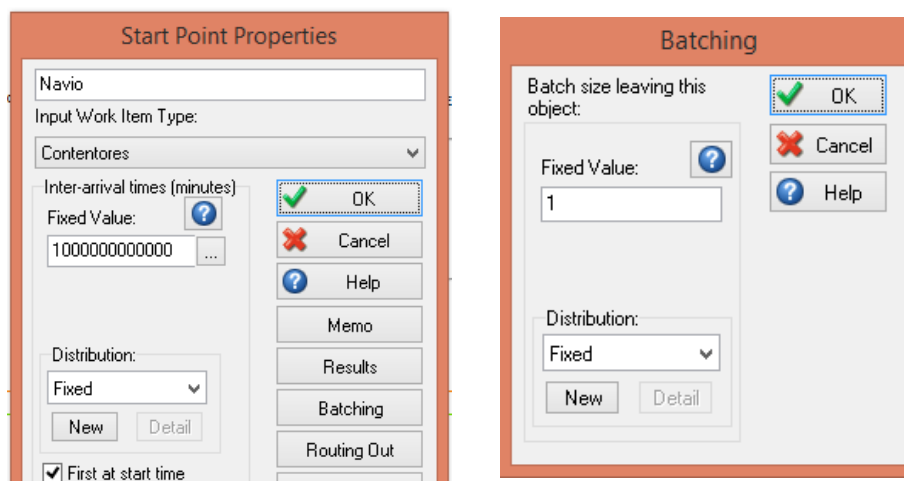


Figura 4.14: Entrada do navio (entidade permanente) no sistema

O navio terá, naturalmente, um horário de partida e só poderá partir nesse horário (ou depois, caso esteja atrasado). Para que se possa definir os horários de partida do navio criou-se o *Start Point* “Autorização Leixões”. Este *Start Point* terá como função fazer entrar *work items* a tempos previamente programados e que funcionam como “bandeiras” de autorização de partida do navio. Ou seja, o navio só estará disponível para iniciar a sua primeira tarefa da viagem, que é o carregamento dos contentores, após receber esta “bandeira de autorização”. Para criar os horários de partida do navio recorreu-se à opção “*Schedule Sheet*”. Foi nesta opção que se definiu, então, quando são recebidas as autorizações. Durante o desenvolvimento do modelo considerou-se que o navio sai, semanalmente, quarta-feira às 09:00 h (só se considerou duas semanas). Assim, a primeira quarta-feira são 3420 minutos depois de a simulação começar, valor que se obtém somando 24h de segunda-feira, mais 24h de terça-feira, mais

9 horas de quarta-feira, tudo a multiplicar por 60 minutos. A segunda quarta-feira será 13500 minutos depois de a simulação começar, valor que se obtém somando aos 3420 minutos anteriores o número de minutos que uma semana contém, que são 10080 (24h x 7dias x 60 minutos).

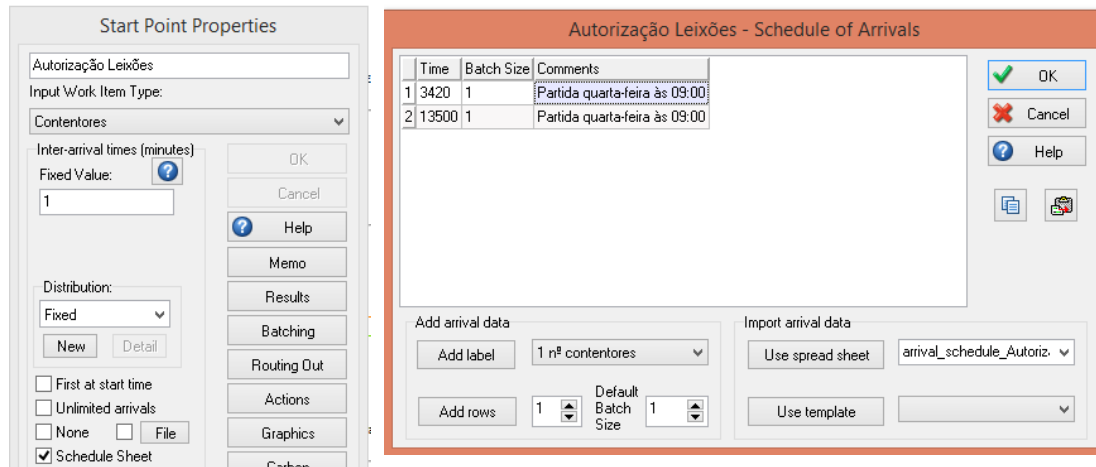


Figura 4.15: Configuração dos horários de partida do navio

Para assegurar que o navio só está disponível para iniciar o carregamento depois de receber a autorização definida acima, foi criada a atividade “Navio recebe autorização_Leixões”. Esta atividade é uma atividade fictícia, com tempo zero, cuja função é apenas fazer o *collect* do navio com a autorização. O *collect* é feito na opção *Routing In*, e recebe a autorização da fila “1 Autorização espera navio” e o navio da fila “1 Navio espera autorização”. O *collect* é feito apenas quando o navio e a autorização estiverem disponíveis, pelo que se selecionou a opção “Do not collect until all available”. Se o navio estiver disponível antes da data da autorização, então terá de aguardar pela autorização na fila “1 Navio espera autorização”, se a autorização for dada sem o navio estiver disponível, então a autorização terá de aguardar na fila “1 Autorização espera navio”, o que significa que o navio vai partir atrasado.

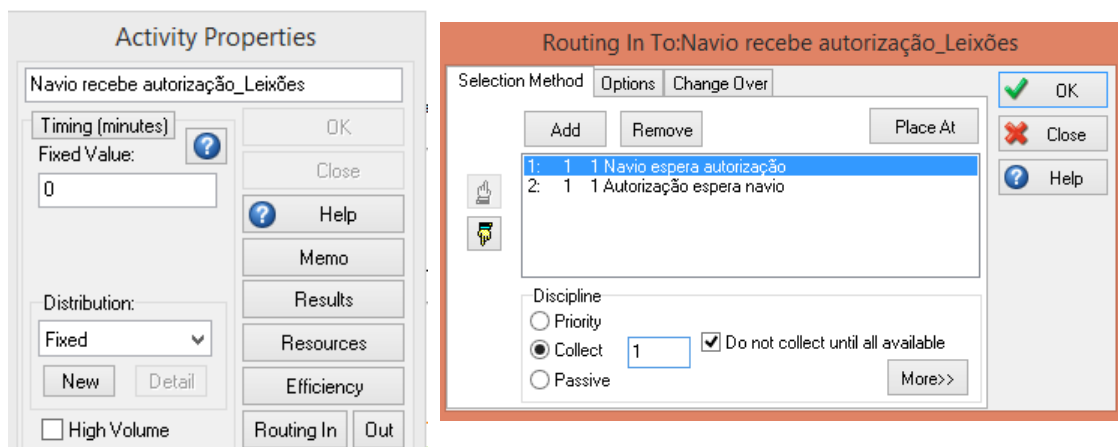


Figura 4.16: Collect do navio com a receção de autorização de partida

Resolvida a primeira dificuldade, ainda falta a segunda: o facto do número de contentores a transportar não ser um valor fixo. O número de contentores a transportar são os que estiverem na fila “1 Espera carregamento” no momento em que o *collect* do navio com a autorização for efetuado.

Na atividade “1 Carregamento” pretende-se fazer, então, um duplo *collect*: primeiro juntar os contentores todos que estão na fila “1 Espera carregamento” num único; e depois juntar os contentores e o navio num único *work item*. Esta operação é feita, como mencionado anteriormente, na opção *Routing In*. Aqui será feito o *collect* dos contentores com o navio. No entanto é necessário indicar o número de contentores de que se quer fazer o *collect*, e foi aqui que surgiu a dificuldade: não se sabe, pois são os contentores que estão na fila “1 Espera carregamento”. Não existe, no SIMUL8, a opção de adicionar ao *collect* um valor variável. Como se pode ver na figura 4.17, só é possível introduzir números (no caso da figura, está o número 15).

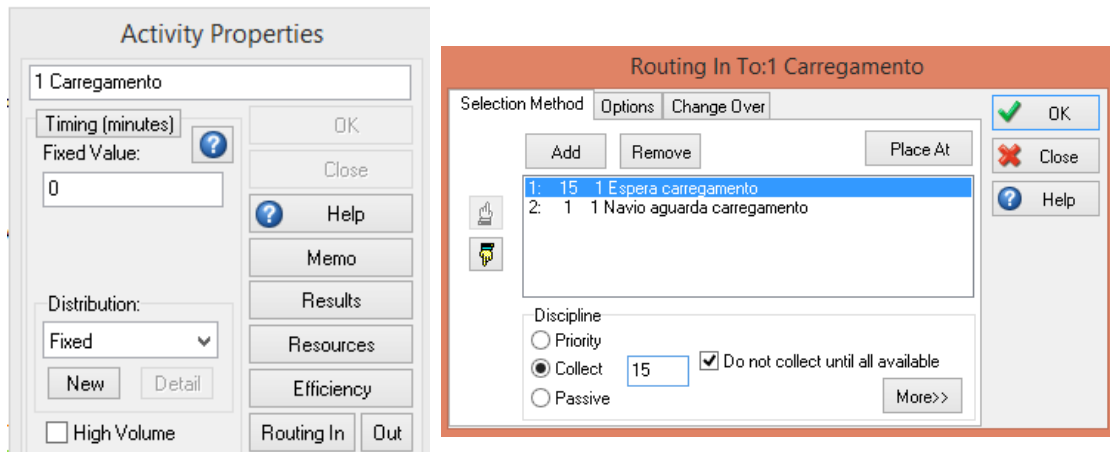


Figura 4.17: Demonstração de que não é possível introduzir variáveis na opção *collect*

Dos estudos analisados no âmbito da revisão de literatura, nenhum dos autores mencionou uma dificuldade semelhante, tendo sido necessário encontrar uma solução de raiz para este problema. A solução encontrada surgiu da chamada de atenção de Shalliker & Ricketts (2002) para as potencialidades da ferramenta Visual Logic, disponível no SIMUL8. Segundo os autores, “uma abordagem alternativa para se adicionar controlos no SIMUL8 é escrevendo código na linguagem de programação Visual Basic, e muitos utilizadores experientes tiram partido disso”. E foi precisamente recorrendo a esta linguagem que se resolveu a dificuldade.

Nas *Options* do *Routing In* surge a opção *Before Selecting*. Esta opção abre a ferramenta Visual Logic, como a figura 4.18 sugere, onde se torna possível através de comandos muito simples programar em Visual Basic.

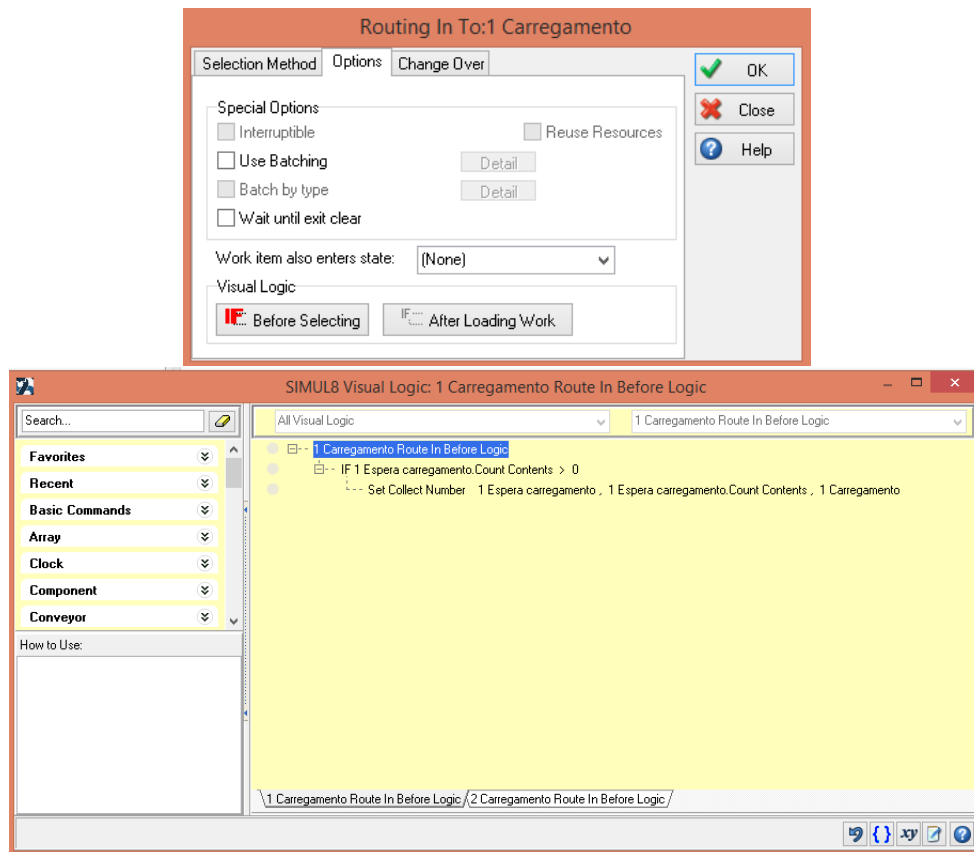


Figura 4.18: Utilização da ferramenta Visual Logic

Foi adicionado, então, a linha de código que surge na imagem. Em suma, o que este código faz é: antes de se fazer o *collect* são contados, através da opção *Count Contents*, quantos contentores estão na fila “1 Espera carregamento”. Se o valor for superior a zero então o número do *collect* a considerar será o número de contentores que estiverem na fila. Ou seja, se estiverem, por exemplo, 50 contentores na fila, este código substituirá automaticamente, o 15 que se via na figura 4.17 por 50.

Assim, e finalmente, a atividade “1 Carregamento” já tem a capacidade de tornar todos os contentores e o navio num único *work item*.

No entanto é necessário saber quantos contentores é que o navio transporta para que se saiba quantos contentores vão ser descarregados. Para isso criou-se uma *label*, com o nome “1 nº contentores”, que tem como função, precisamente, indicar quantos contentores o navio transporta. Inicialmente tentou-se dar à *label* o valor *Count Contents* da fila “1 Espera carregamento”. Pareceu ser a opção mais lógica. No entanto, o valor assumido pela *label* nunca foi o correto, provavelmente devido às ações desenvolvidas durante o *collect*. Assim procurou-se alternativas, e concluiu-se que o valor da fila “1 Espera carregamento” seria o número de contentores que entravam no sistema menos o número de contentores que saíam menos o número de contentores que estavam em todas as restantes atividades e filas. Desta forma a *label* assume, sempre, o valor correto resolvendo-se, assim, a dificuldade.

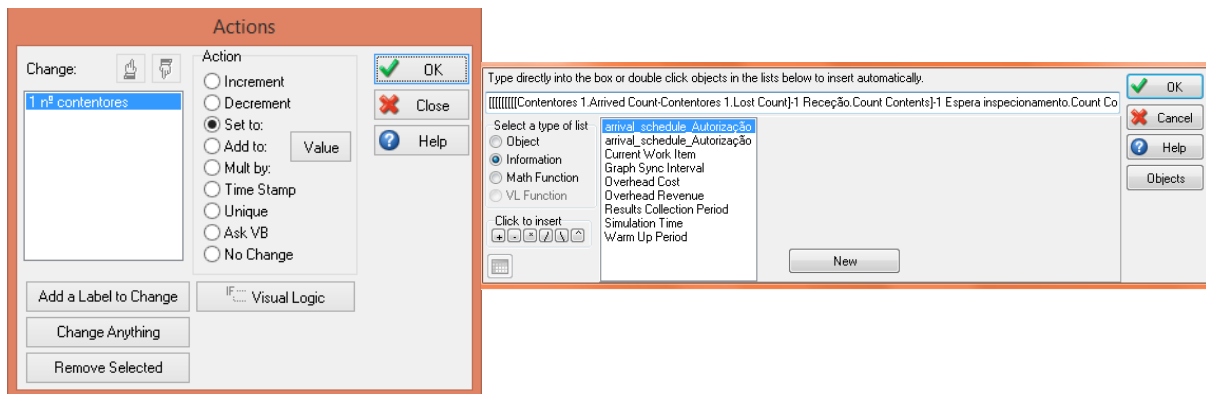


Figura 4.19: Configuração da *label* "1 nº contentores"

Para finalizar o processo de carregamento falta adicionar o tempo da atividade, que está intimamente relacionado com o número de contentores a carregar, ou seja, terá de se recorrer à *label* criada anteriormente. No entanto, a *label* só assume o valor no fim da atividade onde esta foi criada. Assim, teve de se criar uma nova atividade, de nome "1 Carregamento_tempo", cuja função é apenas a de valorizar o tempo de carregamento dos contentores. Assim, a atividade "1 Carregamento" acaba por ser uma atividade fictícia, de tempo zero, cuja função é fazer o *collect* do navio com os contentores e a de dar valor à *label* "1 nº contentores".

Nesta fase considerou-se que são carregados 30 contentores por hora. Assim, o tempo de carregamento, em minutos, é igual a:

$$\frac{\text{"1 número contentores"}}{30} * 60 \text{ minutos} \quad (3)$$

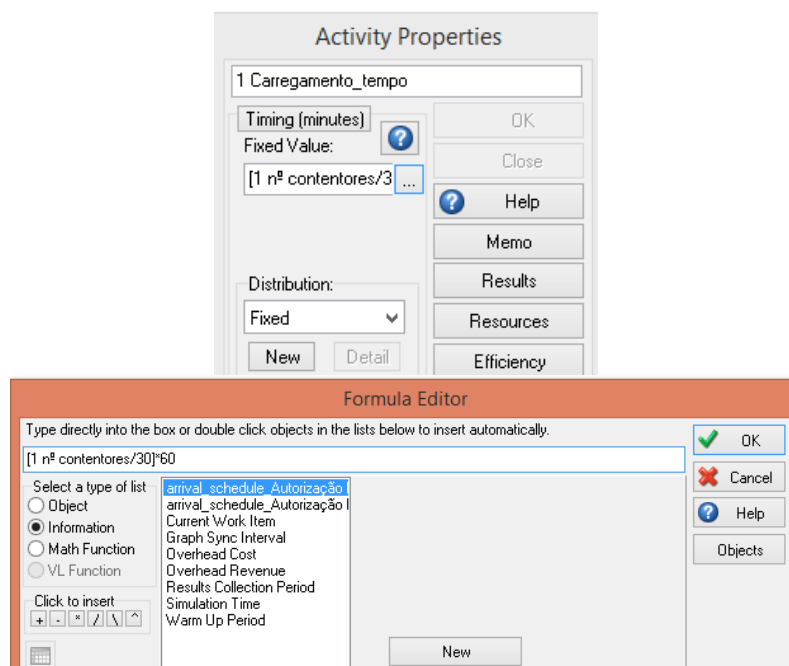


Figura 4.20: Configuração da duração da atividade de carregamento do navio

Espera saída (Queue) e Saída de Leixões (Activity)

Após o navio ter todos os contentores carregados segue-se, então, a saída do porto. Esta atividade considera o tempo da manobra física do navio dentro do porto que, durante esta fase, foi considerado como sendo de duas horas (120 minutos).

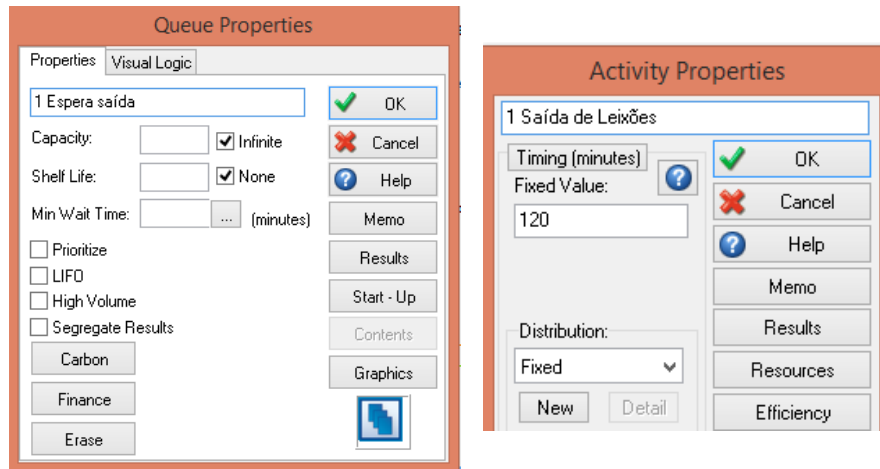


Figura 4.21: Configuração da fila “1 Espera saída” e da atividade “1 Saída de Leixões”

Espera viagem (Queue) e Viagem Leixões_Luanda (Activity)

Segue-se, então, a viagem para Luanda. Durante esta fase assumiu-se que a viagem dura 5 dias (7200 minutos).

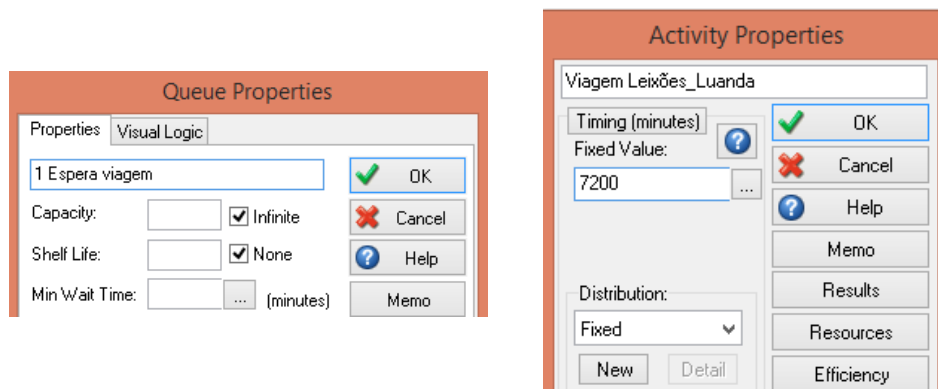


Figura 4.22: Configuração da fila “1 Espera viagem” e da atividade “Viagem Leixões_Luanda”

Espera entrada (Queue) e Entrada em Luanda (Activity)

Chegado a Luanda a primeira atividade é a entrada no porto. Esta atividade considera o tempo da manobra e, também, o tempo de entrada no porto devido a congestionamento. Considerou-se, inicialmente, 6 horas (360 minutos).

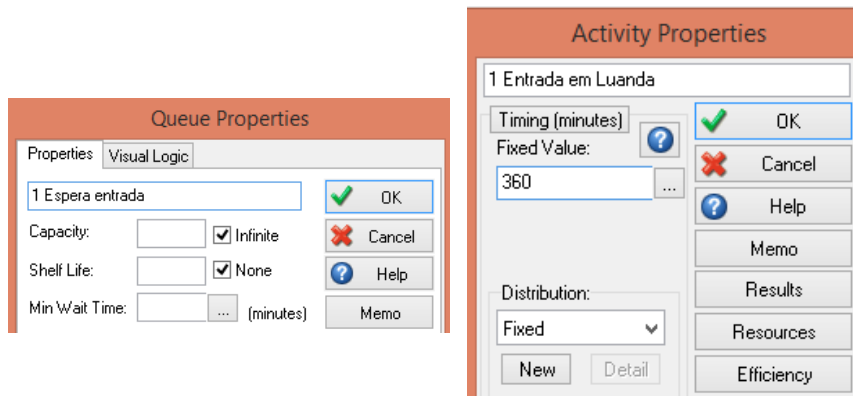


Figura 4.23: Configuração da fila “1 Espera entrada” e da atividade “1 Entrada em Luanda”

Espera descarregamento (Queue), Descarregamento (Activity), Batching (Activity), Espera verificação, Verificação, Navio espera autorização (Queue)

Chegado ao porto segue-se a operação de descarregamento. Aqui tem-se duas atividades responsáveis por esta operação: “1 Descarregamento” e “1 *Batching*”. A atividade “1 Descarregamento” é responsável pelo tempo de descarregamento, que é, tal como na operação de carregamento, em função da *label* “1 nº contentores”. Para o descarregamento foi considerado o mesmo tempo que para o carregamento (ver equação 3).

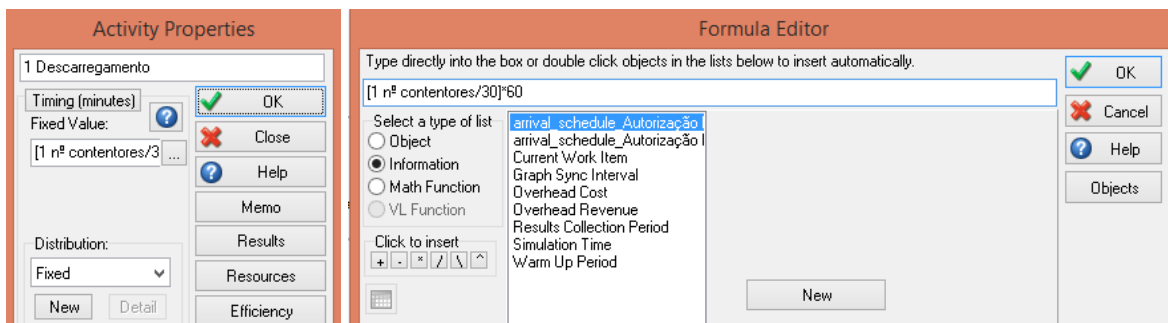


Figura 4.24: Configuração da duração da atividade de descarregamento do navio

Adicionalmente esta atividade divide o *work item* em dois: um que irá conter todos os contentores, e outro que será o navio. Esta operação é feita através do *Routing Out* recorrendo à opção *Batching*, onde se indica que se quer dois *work items* a abandonar esta atividade.

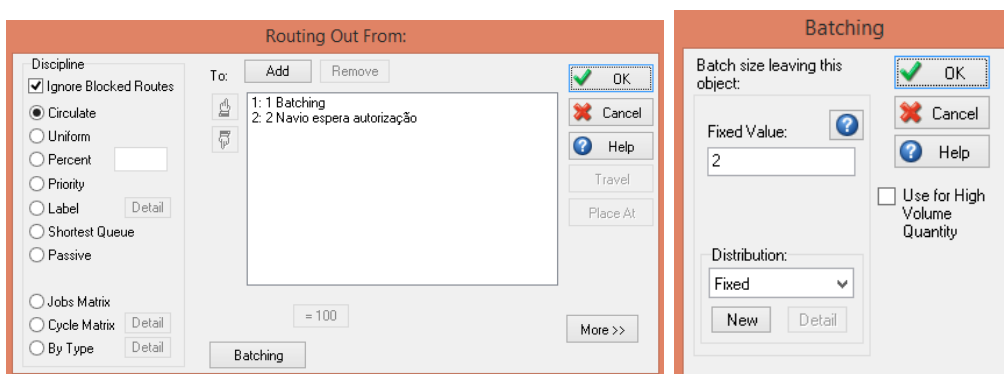


Figura 4.25: Configuração para saída de dois work items da atividade de descarregamento

O *work item* que contém os contentores segue, então, para a atividade “1 *Batching*”. Esta atividade fictícia, de duração zero, é responsável por transformar o *work item* no número de contentores que o navio transportou. Para isso recorreu-se, mais uma vez, à opção *Batching* onde se indicou que o número de *work items* a abandonar esta atividade é o número que a *label* “1 nº contentores” contém.

Importa lembrar que também à chegada existe uma certa probabilidade dos contentores terem de ser verificados. A atividade “1 *Batching*” é, também, a responsável pelo encaminhamento dos contentores ou para verificação ou, caso o contentor não tenha de ser verificado, para o “*End Point 1*”, chegando o contentor ao fim do seu ciclo de vida. Considerou-se, mais uma vez, que 10% dos contentores vão ser verificados. A atividade responsável pela verificação será a atividade “1 Verificação”, que se considerou, durante esta fase, durar 2 horas (120 minutos). Após ser verificado o contentor chega, também, ao “*End Point 1*”.

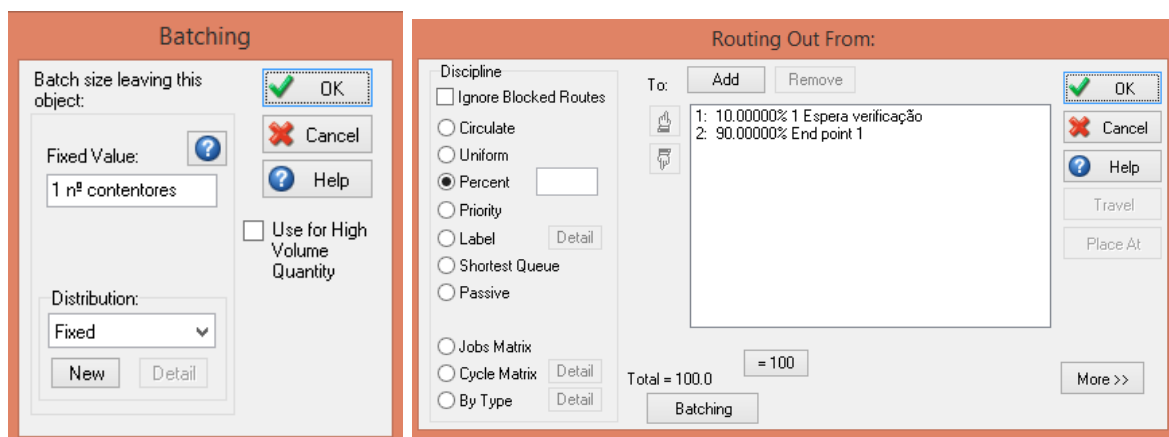


Figura 4.26: Definição da percentagem de contentores a verificar

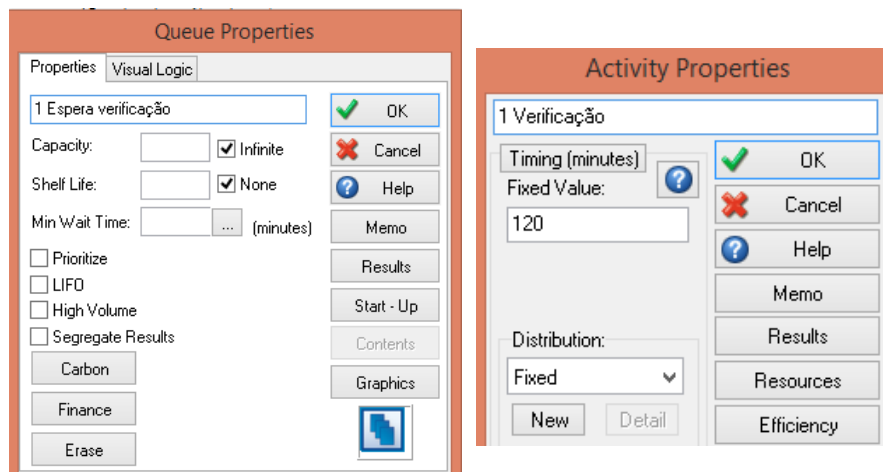


Figura 4.27: Fila “1 Espera verificação” e atividade “1 Verificação”

O outro *work item* a abandonar a atividade “1 Descarregamento”, como já referido, é o navio. Após o descarregamento o navio segue para uma fila de espera, a fila “2 Navio espera autorização” onde aguarda, tal como se sucedeu em Leixões, pela “bandeira” de autorização de partida lançada, agora, pelo *Start Point* “Autorização Luanda”. Assim, repete-se todo o processo mas agora no sentido Luanda-Leixões. A figura 4.28 mostra, por fim, a visão geral do modelo alcançado.

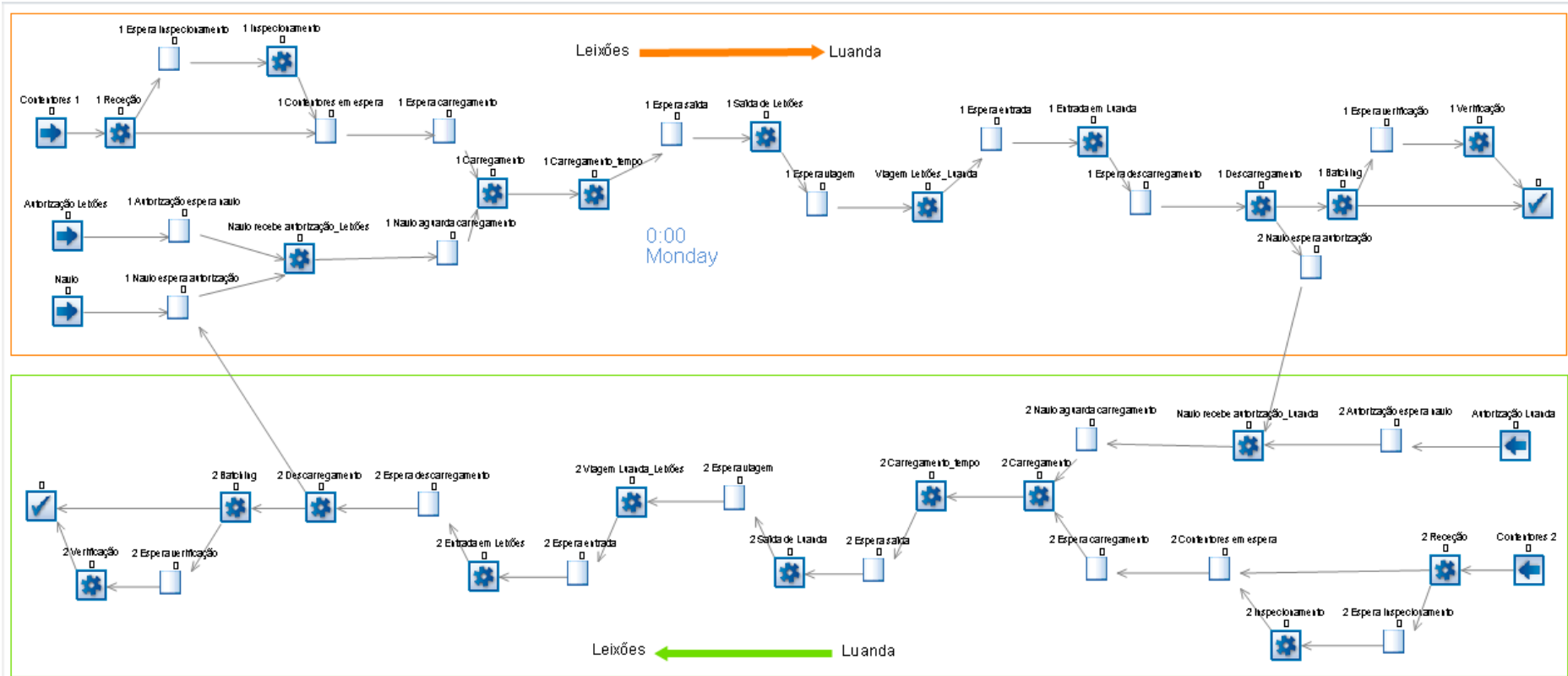


Figura 4.28: Visão geral do modelo desenvolvido em SIMUL8

4.3.5 Verificação e validação do modelo

Tal como mencionado no ponto anterior, ao longo do desenvolvimento do modelo todas as atividades foram consideradas como tendo uma distribuição fixa. Além disso, os valores a considerar foram de tal forma que permitissem analisar, de forma intuitiva, se o modelo fazia o que se pretendia.

Posto isto, a fase de verificação e validação do modelo foi dividida em duas partes:

1. Verificar, com valores fixos e que permitem testar todas as funcionalidades do modelo, se o modelo funciona de forma adequada. Nesta fase o ênfase será, essencialmente, nas atividades consideradas críticas, ou seja, que criaram dificuldades durante a fase de desenvolvimento do modelo. Estas atividades são, essencialmente: o horário de receção de contentores; o horário de partida dos navios; e o nº de contentores a carregar e a descarregar (principalmente a atividade do *collect* de contentores e a *label* que indica o nº de contentores que o navio transporta). Nesta última atividade importa analisar, também, se a capacidade máxima do navio é respeitada.
2. Após a finalização da fase anterior o modelo desenvolvido pode receber os valores que servem de base à obtenção dos resultados pretendidos. Após a introdução dos valores é feito, por fim a estabilização do sistema.

4.3.5.1 Fase 1

Na primeira fase foram considerados, então, os seguintes dados:

Tabela 4.5: Dados utilizados na fase 1 da verificação/validação

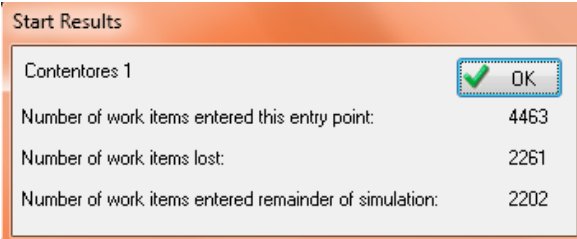
Designação	Leixões	Luanda
Taxa de entrada de contentores	1 a cada 10 minutos	1 a cada 120 minutos
Horário de receção de contentores	Das 08:00h às 24:00h	
Horário de funcionamento do porto	24h/dia 7 dias/semana	
Horário de partida do Navio	Quinzenalmente, quarta-feira, às 09:00 h	
Taxa de contentores a Inspeccionar	10%	
Taxa de contentores a verificar	10%	
Inspeção de contentores (à partida)	120 minutos	
Verificação de contentores (à chegada)	120 minutos	
Atividade de carregamento	30 contentores/hora	
Atividade de descarregamento	30 contentores/hora	
Entrada nos portos	120 minutos	360 minutos
Saída dos portos	120 minutos	
Nº de Navios/Capacidade	1 navio/100 contentores	
Viagem Leixões-Luanda	5 dias (7 200 minutos)	
Viagem Luanda-Leixões	7 dias (10 080 minutos)	

Adicionalmente, foi considerado 31 dias para o tempo de simulação.

Estes valores não foram escolhidos ao acaso. Foram escolhidos com o intuito de pôr à prova as atividades ditas críticas do modelo e verificar se o seu comportamento é o pretendido. Assim:

- É possível verificar se entram no sistema contentores apenas no horário definido validando, assim, a atividade de receção;
- Com a taxa considerável de contentores a analisar/verificar (10%) é possível validar se as atividades responsáveis pelo encaminhamento, ou não, dos contentores para inspeção/verificação estão a funcionar de forma adequada;
- A elevada taxa de contentores recebidos em Leixões ultrapassa, certamente, a capacidade do navio permitindo verificar, assim, se o modelo desenvolvido respeita a sua capacidade máxima;
- A reduzida taxa de contentores recebidos em Luanda, certamente inferior à capacidade do navio, permite analisar, de outro ângulo, se o *collect* de contentores está a funcionar corretamente, bem como a *label* responsável pela indicação do número de contentores no navio (do lado de Leixões o número será constante, sempre 100 contentores, não permitindo verificar todas as potencialidade do *collect* e da *label*);
- É possível analisar se o navio parte, apenas, após receber a “bandeira” de autorização”. Adicionalmente, o elevado tempo de viagem de Luanda para Leixões causa, certamente, atrasos no navio permitindo verificar que o navio só fica disponível quando chega ao seu destino, e não quando recebe a “bandeira” de autorização. Neste caso o navio vai sair, certamente, atrasado;
- Os 31 dias da simulação permitem a concretização de duas viagens completas entre Leixões-Luanda e Luanda-Leixões.

Assim, para a verificação das entradas de contentores apenas no horário definido analisou-se, primeiramente, se todos os contentores entravam, ou não, no sistema. Pela figura 4.29 conclui-se que existem *work items* que não entram no sistema, que são, certamente, os que chegam fora do horário permitido sendo recusados.



Start Results	
Contentores 1	<input checked="" type="checkbox"/> OK
Number of work items entered this entry point:	4463
Number of work items lost:	2261
Number of work items entered remainder of simulation:	2202

Figura 4.29: Receção de contentores

Em seguida analisou-se os resultados obtidos na atividade fictícia “1 Recepção”, atividade esta onde o horário de recepção dos contentores foi definido. Pela figura 4.30 identifica-se, claramente, um padrão: as barras indicam o tempo em que a atividade permite a recepção de contentores, e os espaços em branco em que não permite. De notar que os espaços em branco maiores são o momento onde ocorre os fins-de-semana.

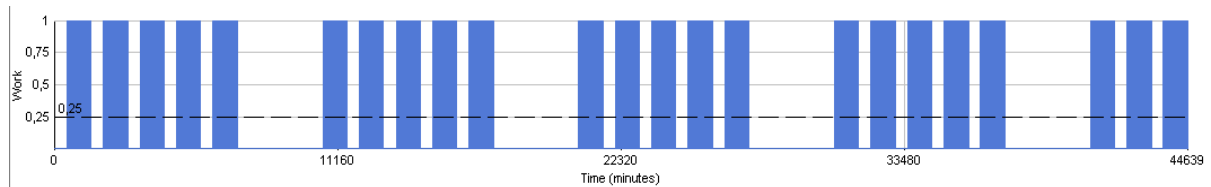


Figura 4.30: Horário de recepção de contentores

Para uma análise mais detalhada exportou-se os resultados para o Microsoft Excel, onde a tabela 4.6 apresenta uma amostra dos resultados. Se a atividade tiver 1 *work item* então a atividade está em funcionamento, ou seja, permite a recepção de contentores. Assim, o primeiro valor “1” obtido foi para o minuto 480. Como a simulação começa segunda-feira às 00:00 h este valor corresponde, então, a segunda-feira às 08:00 h (8 horas x 60 minutos). Neste dia, o último contentor recebido foi ao minuto 1430, ou seja às 23:50 h (24 h x 60 minutos). Após este minuto segue-se um intervalo, que é interrompido ao minuto 1920, ou seja, terça-feira às 08:00 (32 h x 60 minutos). Assim, pela análise das figuras 4.29 e 4.30, e pela tabela 4.6, conclui-se que o horário de recepção de contentores está a ser respeitado.

Tabela 4.6: Verificação do cumprimento do horário de recepção de contentores

Tempo (minutos)	Quantidade
480	1
490	1
500	1
(...)	
1410	1
1420	1
1430	1
1920	1
(...)	

Segue-se a verificação da taxa de contentores a inspecionar em Leixões. Pela análise dos resultados da entrada de contentores, que consta na figura 4.29 da página anterior, conclui-se que entraram no sistema 2202 contentores, pelo que deviam ser inspecionados, teoricamente, cerca de 220 contentores. Pela figura 4.31 conclui-se que foram analisados 219 contentores, o que indica um erro de 0,54%.

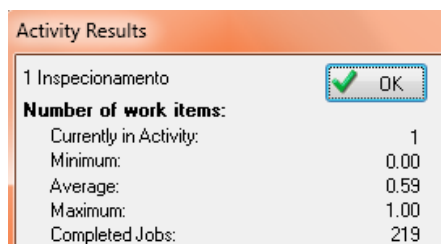


Figura 4.31: Validação do n.º de contentores inspeccionados em Leixões

Embora se obtenha um erro ínfimo na taxa de contentores inspeccionados em Leixões, na taxa de contentores verificados na chegada a Luanda o mesmo não acontece. Pela figura 4.32 conclui-se que saem do sistema 200 contentores, pelo que teoricamente deviam ser verificados 20 contentores. No entanto, os resultados da atividade “1 Verificação”, também na figura 4.32, indicam que foram inspeccionados apenas 13, ou seja, foram inspeccionados 6,5% dos contentores em vez dos 10% expectáveis, o que representa um desvio considerável de 3,5 pontos percentuais.

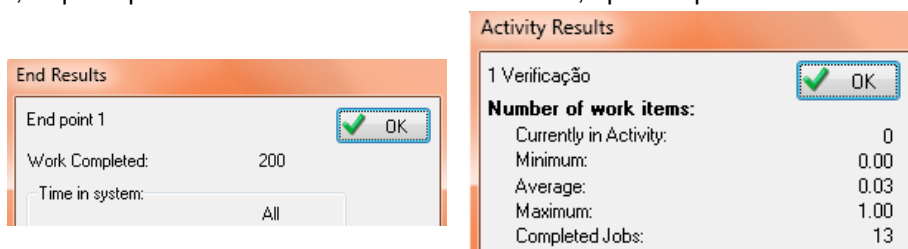


Figura 4.32: Validação do n.º de contentores verificados em Luanda (1)

Esta diferença, embora justificada pelo baixo número de contentores transacionados (apenas 200, quando na atividade de inspeção foram 2202) mereceu a maior atenção. Assim, efetuou-se uma experiência cujo objetivo foi fazer chegar ao fim um elevado número de contentores (obteve-se aumentando, temporariamente, a capacidade do navio para 1000 contentores). Com esta alteração, como se comprova pela figura 4.33, chegaram a Luanda 1160 contentores pelo que teoricamente deviam ser verificados 116 contentores. No entanto foram verificados 86, o que significa que foram inspeccionados 7,41% dos contentores em vez dos 10% expectáveis, o que representa um desvio, ainda considerável, de 2,59 pontos percentuais.

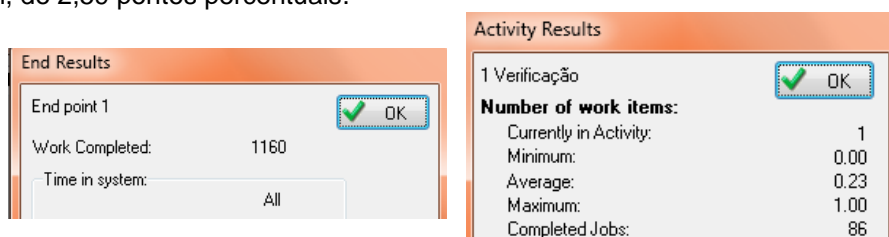


Figura 4.33: Validação do n.º de contentores verificados em Luanda (2)

Estes resultados permitem concluir que a diferença entre o valor expectável (10% neste caso) e o valor obtido diminui com o aumento da taxa de contentores transacionados. Além disso importa ainda referir que foram realizadas apenas duas viagens durante esta fase, fator que certamente também influencia o elevado desvio apresentado. Estes fatores foram tidos em conta, minuciosamente, durante a fase de estabilização do modelo. Assim, e como se mostra na segunda fase deste capítulo, esta atividade foi novamente inspeccionada com o intuito de verificar se o desvio diminui para valores aceitáveis.

Segue-se a validação do processo responsável por assegurar o cumprimento da capacidade máxima do navio. Como a figura 4.32 da página anterior sugere, chegaram a Luanda, em 2 viagens, 200 contentores. Lembrando que a capacidade máxima considerada do navio foi de 100 contentores, e que se realizaram duas viagens, a figura sugere que a capacidade máxima foi respeitada.

No entanto, recorreu-se ainda à análise dos resultados da fila “1 Espera carregamento”, onde se verifica, através da figura 4.34 que efetivamente nunca se encontram para ser carregados mais do que 100 contentores. Assim pode-se concluir que a capacidade do navio é respeitada (importa relembrar que os contentores em “excesso” aguardam a sua vez na fila “1 Contentores em espera”). De notar que a fila se mantém na sua capacidade máxima pois fez-se entrar um elevado número de contentores, propositadamente, para averiguar se a capacidade máxima do navio era respeitada.

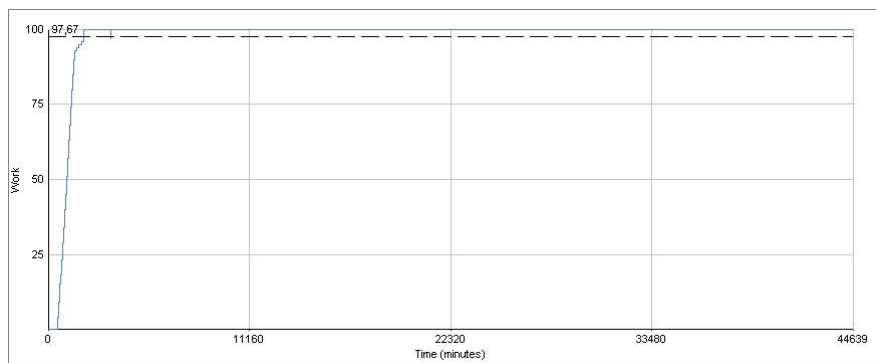


Figura 4.34: N.º de contentores a carregar no navio

Por outro lado, em Luanda fez-se entrar um reduzido número de contentores para avaliar o comportamento da função definida usando o Visual Logic, responsável pelo *collect* dos contentores, bem como o valor assumido pela *label*. Assim, analisou-se a fila “2 Espera carregamento”, fila onde os contentores com origem em Luanda aguardam o carregamento no navio com destino a Leixões. A análise dos resultados permitiu obter o gráfico da figura 4.35.

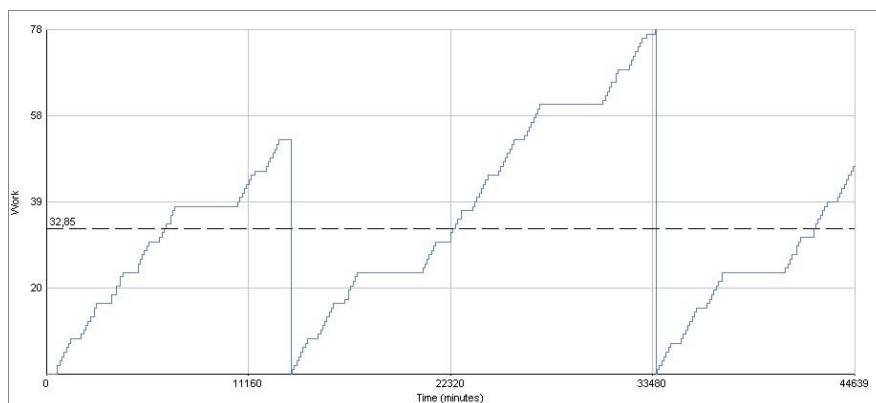


Figura 4.35: Evolução do n.º de contentores na fila “2 Espera carregamento”

A análise deste gráfico deixa claro a evolução desta fila: vai aumentando durante a receção dos contentores até ao momento em que os contentores são carregados no navio. Os pontos máximos do gráfico, seguindo-se de quedas abrupta indicam o momento em que os contentores seguem para a atividade de carregamento. Extraindo os dados para o Microsoft Excel obteve-se que, na primeira

viagem de Luanda para Leixões, cujo processo se iniciou ao minuto 13500, o navio seguiu com 53 contentores. Já na segunda viagem com a mesma origem e destino, o navio seguiu com 78 contentores, totalizando 131 contentores transportados ao fim dos 31 dias de simulação considerados. No entanto, a figura 4.36 indica que apenas 128 contentores chegaram ao destino.



Figura 4.36: N.º de contentores que saíram do sistema em Leixões após os 31 dias de simulação

No entanto, analisando o último troço do percurso destes contentores, representado na figura 4.37, conclui-se que quando o tempo de simulação acabou ainda se encontrava 1 contentor a ser verificado e outros 2 à espera. Assim, obtém-se os 131 contentores e pode-se considerar este processo como validado.

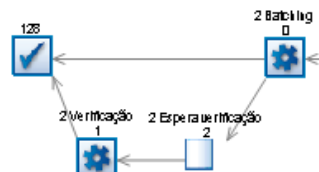


Figura 4.37: Contentores na atividade de verificação e respetiva fila

Por fim falta a validação dos tempos de partida do navio. Para analisar esta componente recorreu-se aos resultados das atividades “Navio recebe autorização_Luanda” e “Navio recebe autorização_Leixões”. Pela análise do gráfico da figura 4.38, relativo às partidas em Luanda, e respetiva retirada dos dados para uma folha do Microsoft Excel, resumidos na tabela 4.7, torna-se possível concluir que as partidas ocorreram à hora prevista.

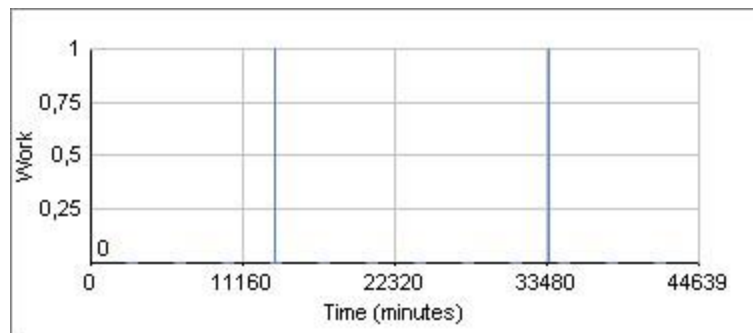


Figura 4.38: Horário efetivo de partida do navio, em Luanda

Tabela 4.7: Comparação entre o horário previsto e o horário efetivo de partida do navio (1)

Horário previsto (em minutos)	Horário efetivo (em minutos)
13500	13500
33660	33660

Estes dados permitem concluir que mesmo que o navio esteja pronto antes do horário de partida apenas sairá à hora prevista, ou seja, após receber a “bandeira” de autorização”.

Por seu turno, importa agora analisar que o navio só sairá quando estiver disponível, mesmo que isso signifique que saia atrasado. Para isso, como mencionado, aumentou-se o tempo de viagem entre Luanda e Leixões de forma a provocar um atraso na partida do navio em Leixões. A tabela 4.8 mostra os dados obtidos através da análise dos resultados da atividade “Navio recebe autorização_Leixões”. Através da sua análise, conclui-se que efetivamente o navio iniciou uma das suas partidas atrasado, o que comprova que o modelo responde assertivamente a estas questões.

Tabela 4.8: Comparação entre o horário previsto e o horário efetivo de partida do navio (2)

Horário previsto (em minutos)	Horário efetivo (em minutos)
3420	3420
23580	24035

4.3.5.2 Fase 2

A fase 1 permitiu concluir que o modelo funciona de forma adequada podendo-se passar, então, à estabilização do sistema. Nesta segunda fase já são utilizados os dados recolhidos, e que foram apresentados na devida secção. Assim, e em resumo, a tabela 4.9 apresenta os dados utilizados em cada uma das atividades do modelo.

Tabela 4.9: Dados utilizados para a estabilização do sistema e obtenção de resultados

Atividade	Leixões (tempos em minutos)	Luanda (tempos em minutos)
Entrada de contentores	Distribuição: Exponencial Média: 5 (1% dos contentores)	Distribuição: Exponencial Média: 40 (2% dos contentores)
Inspeção	Distribuição: Normal Média: 300 Desvio padrão: 60 (4% dos contentores)	Distribuição: Normal Média: 480 Desvio padrão: 240 (2% dos contentores)
Verificação	Distribuição: Normal Média: 300 Desvio padrão: 180	Distribuição: Normal Média: 480 Desvio padrão: 240
Entrada no porto	Distribuição: Média Média: 90	Distribuição: Triangular Upper: 1440 Lower: 120 Moda: 420
Saída do porto	Distribuição: Média Média: 90	Distribuição: Triangular Upper: 600 Lower: 120 Moda: 240
Carregamento e descarregamento de contentores	Distribuição: Média Média: (“1 n° contentores”/40)x60	Distribuição: Média Média (“2 n° contentores”/30)x60

Inicialmente pretende avaliar-se os resultados usando apenas um navio. Como mencionado anteriormente, a velocidade dita “normal” de um porta-contentores situa-se entre os 20 e os 25 nós, pelo que foi considerado, nesta fase de estabilização do sistema, que o navio circula a 23 nós.

Para se saber a duração da viagem entre Leixões e Luanda tem-se que:

$$1 \text{ nó} = 1,85 \text{ km/h}$$

$$23 \text{ nós} = 42,60 \text{ km/h}$$

Adicionalmente sabe-se que a distância entre o porto de Leixões e Luanda são 7 500 km. Dividindo a distância pela velocidade do navio obtém-se que a duração da viagem é de 176 horas, ou seja, 10 563 minutos (7,3 dias). Assim, o tempo a considerar entre viagens é:

Distribuição: Average

Média: 10 563 minutos

Com o intuito de se obter resultados fidedignos procurou-se escolher as distribuições que melhor se adequam de acordo com os dados recolhidos. Por exemplo, o tempo entre chegadas de contentores ao sistema assume carácter aleatório e, além disso, independente. Segundo a SIMUL8 Corporation (2014), a distribuição Exponencial “*é a distribuição clássica usada para tempos entre chegadas em que qualquer chegada é independente da próxima*”, pelo que esta foi a distribuição escolhida para simular o tempo entre chegadas de contentores. Para o caso em que se sabe o valor médio e, também, a variação face a este valor, a distribuição mais adequada é a Normal. Já nos casos em que a informação é escassa, e onde a distribuição não é perceptivelmente uniforme, então a distribuição mais adequada é a triangular, em que é apenas necessário saber, para este caso, qual o cenário pessimista (*Upper*), otimista (*Lower*) e o que mais vezes acontece (*Moda*).

Por fim, e ainda segundo a SIMUL8 Corporation (2014), nos casos em que existem poucos dados disponíveis para justificar o uso de distribuições estatísticas parametrizadas deve-se utilizar a distribuição média. Para o SIMUL8 a distribuição média não é mais que uma distribuição Normal cujo desvio padrão é 25% do valor da média.

Definidas as distribuições mais adequadas para cada uma das atividades torna-se necessário agendar a partida dos navios. Sabe-se que a duração da viagem são cerca de 7,3 dias, e pretende obter-se um serviço regular, ou seja, que inicie a atividade de carregamento de contentores (1ª atividade da viagem do navio) a dias certos. Assim, e tendo em atenção não só a duração da viagem mas também a duração do carregamento e descarregamento do navio bem como a entrada e saída dos portos, conclui-se que na melhor das hipóteses o navio fará 2 viagens completas entre Leixões e Luanda.

Assim, considerou-se que o navio receberá uma autorização de partida uma vez por mês em cada um dos portos. O horário escolhido foi segunda-feira às 08:00 h.

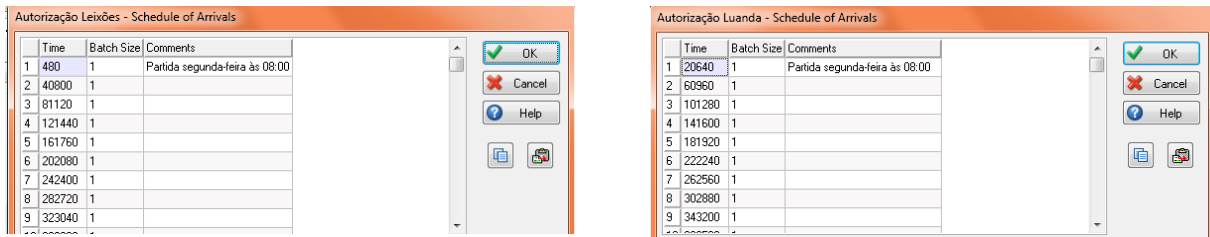


Figura 4.39: Definição dos horários de partida do navio para a estabilização do sistema

Apresentados os dados, e introduzidos no modelo, dá-se continuidade ao processo de estabilização do sistema. Para que se consiga esta estabilização é fulcral definir certos parâmetros que ajudem a encontrar um intervalo de tempo de simulação fiável, ou seja, em que os resultados apresentados sejam representativos do funcionamento do sistema numa fase em que este demonstre estabilidade e eficiência. Assim, os parâmetros a considerar são:

1. Não congestionamento do sistema;
2. *Warm Up*;
3. Tempo de simulação;
4. Número de runs a considerar;
5. Condições impostas ao sistema.

1. Não congestionamento do sistema

Vários autores começam a estabilização do sistema pelo período de *Warm Up*. No entanto, para este trabalho optou por se começar por analisar que o sistema não é congestionado.

Uma das componentes consideradas no modelo desenvolvido é a capacidade do navio. Se a capacidade do navio não for suficiente para fazer face aos contentores que entram no sistema então existirá um congestionamento, não se conseguindo a estabilização do sistema (a fila de contentores à espera para serem carregados crescerá indefinidamente e, conseqüentemente, o tempo de permanência dos contentores no sistema). Dada a sensibilidade do modelo a esta componente optou-se por iniciar o processo de estabilização do sistema garantindo que não há congestionamento.

Assim analisou-se a fila de contentores à espera para serem carregados em Leixões (considerou-se esta fila pois a taxa de chegada de contentores em Leixões é bastante superior à de Luanda). Aqui entra no sistema 1 contentor a cada 5 minutos, ou seja, 12 contentores por hora. Como o horário de receção de contentores é de 16 horas por dia, significa que entram (mais ou menos) 192 contentores num dia. Assim, ao fim de 4 semanas (5 dias por semana) entram 3840 contentores no sistema. Assim decidiu-se definir a capacidade máxima do navio em 4000 TEU. A figura 4.40 mostra, então, a evolução da fila "1 Espera carregamento" durante um tempo de simulação considerável, que se definiu, para esta análise, em 3,5 anos.

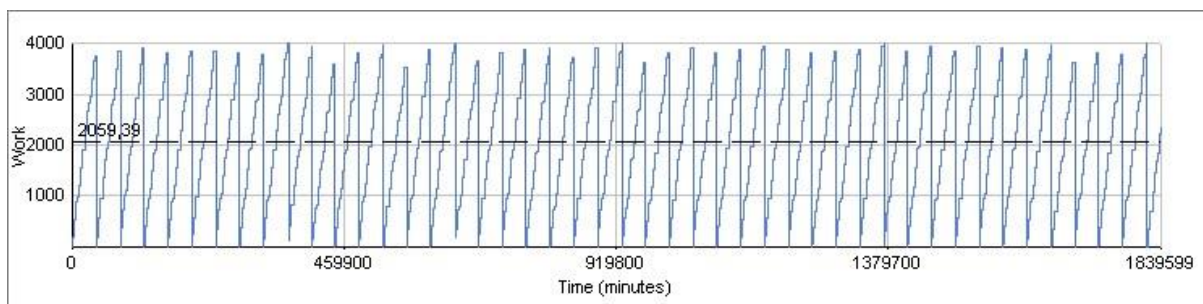


Figura 4.40: Evolução da fila “1 Espera carregamento” com capacidade para 4000 contentores

Como se conclui pela análise do gráfico, embora a fila atinja a sua capacidade máxima em vários momentos, não há congestionamento, sendo que o número médio de contentores nesta fila se fixou nos 2059,39 (se houvesse congestionamento a fila teria estabilizado na sua capacidade máxima, de 4000 contentores, mostrando que a capacidade do navio não seria suficiente). A título de curiosidade a figura 4.41 mostra a evolução da fila de contentores à espera para serem carregados mas em Luanda onde, como se esperava, a fila apresenta uma média de contentores em espera bastante inferior, de cerca de 242 contentores.

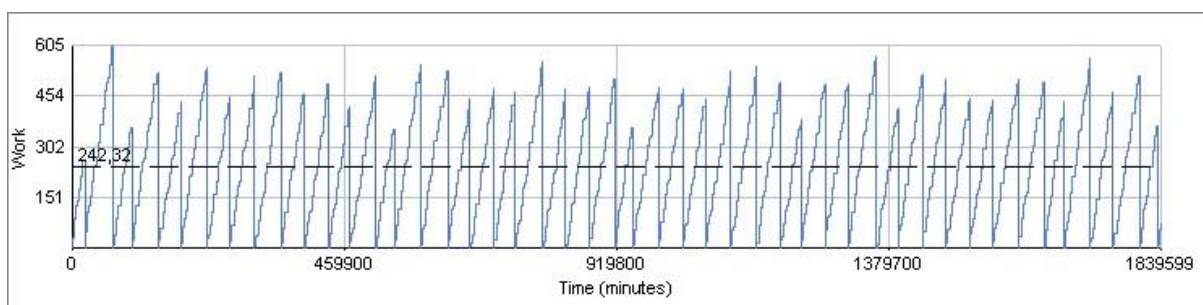


Figura 4.41: Evolução da fila “2 Espera carregamento” com capacidade para 4000 contentores

De forma a ter a certeza que o sistema flui analisou-se, também, a evolução das filas de contentores em espera para inspeção em Luanda e a fila de contentores em espera para verificação em Leixões. As figuras abaixo, 4.42 e 4.43, indicam que não existe congestionamento pelo que esta fase se dá por concluída e validada.

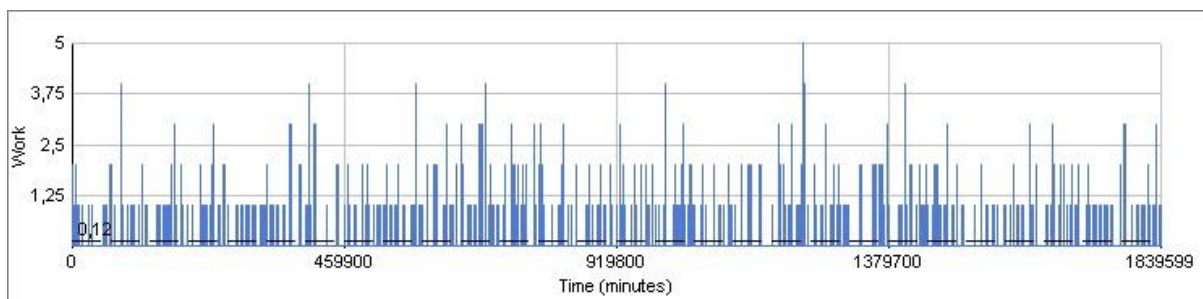


Figura 4.42: Evolução da fila “2 Espera inspeccionamento”

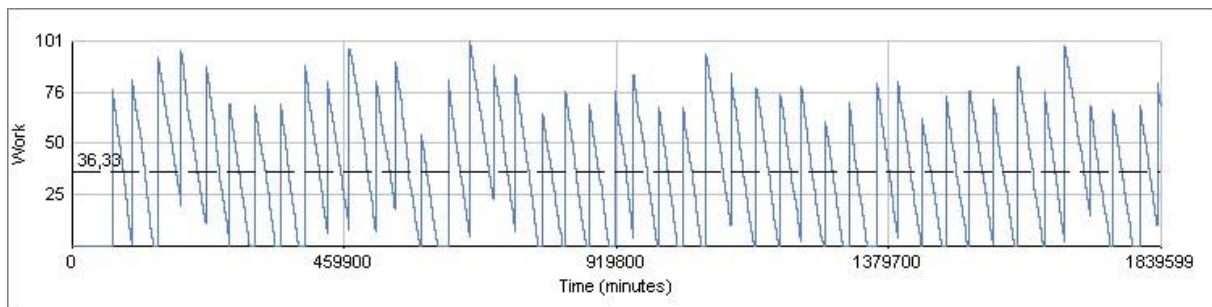


Figura 4.43: Evolução da fila “2 Espera verificação”

2. Warm Up

Após verificar o não congestionamento do sistema importa analisar, agora, o período de *Warm Up*. Durante o início da simulação os resultados alcançados são algo inconstantes, pois o modelo ainda não se encontra estabilizado. Assim, o *Warm Up* é o intervalo de tempo em que o SIMUL8 não retira resultados da simulação, intervalo este que o modelo necessita até atingir a estabilidade.

Para definir este parâmetro recorreu-se à análise de medidas de desempenho do sistema. As medidas escolhidas foram:

1. **Contentores 1:** Número médio de contentores à espera para serem carregados em Leixões;
2. **Contentores 2:** Número médio de contentores à espera para serem carregados em Luanda;
3. **Contentores 1:** Tempo médio de permanência do sistema;
4. **Contentores 2:** Tempo médio de permanência do sistema.

Esta análise é conseguida executando um número de simulações em série (*Runs* - considerou-se 5), variando o tempo de simulação, que permitem uma maior fiabilidades dos resultados obtidos. Como não é intuitivo retirar conclusões com os dados em tabela, os resultados alcançados podem ser visualizados nos gráficos das figuras 4.44, 4.45, 4.46 e 4.47 (os dados podem ser consultados na tabela A.2, em anexo).

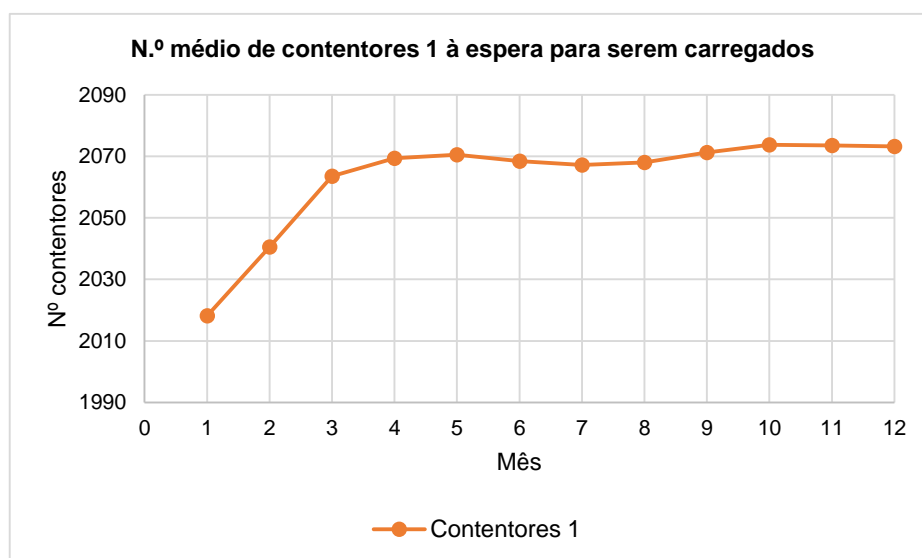


Figura 4.44: *Warm Up* – N.º médio de contentores 1 à espera para serem carregados

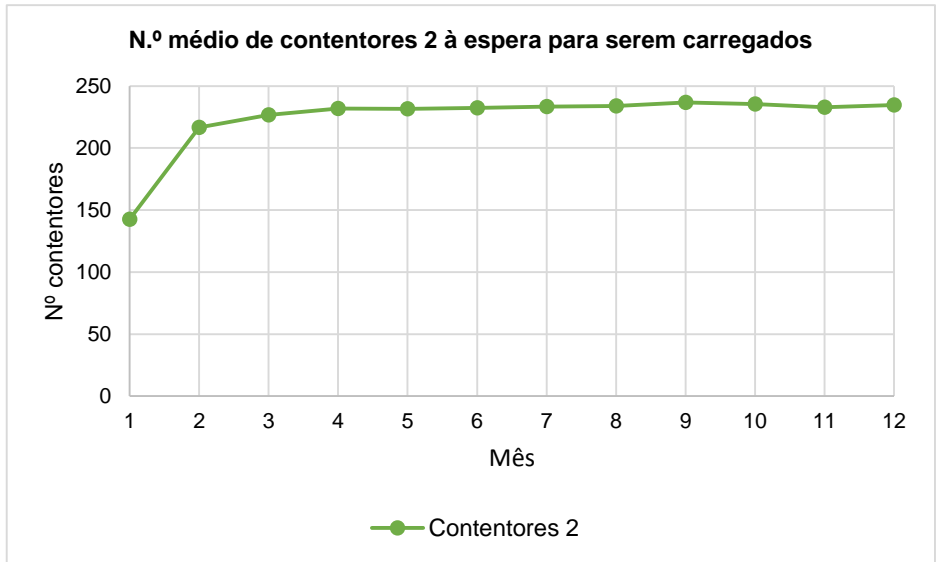


Figura 4.45: Warm Up – N.º médio de contentores 2 à espera para serem carregados

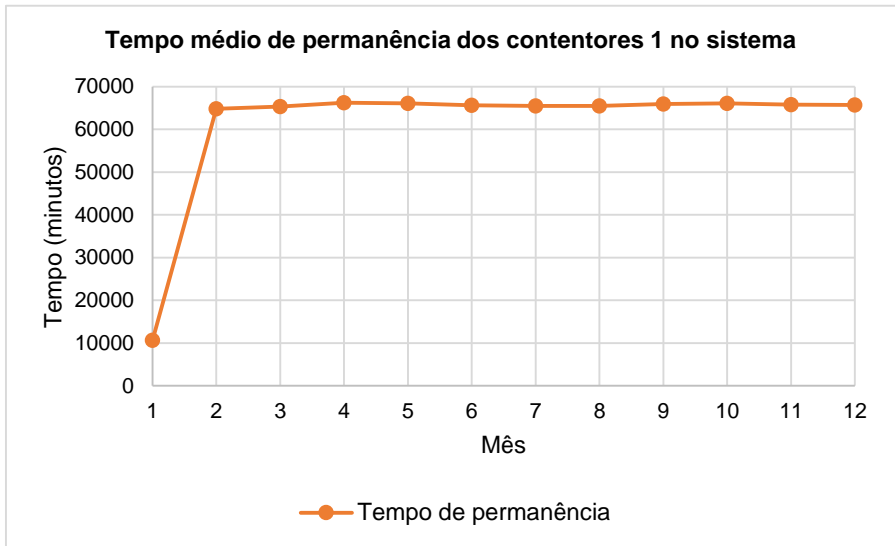


Figura 4.46: Warm Up - Tempo médio de permanência dos contentores 1 no sistema

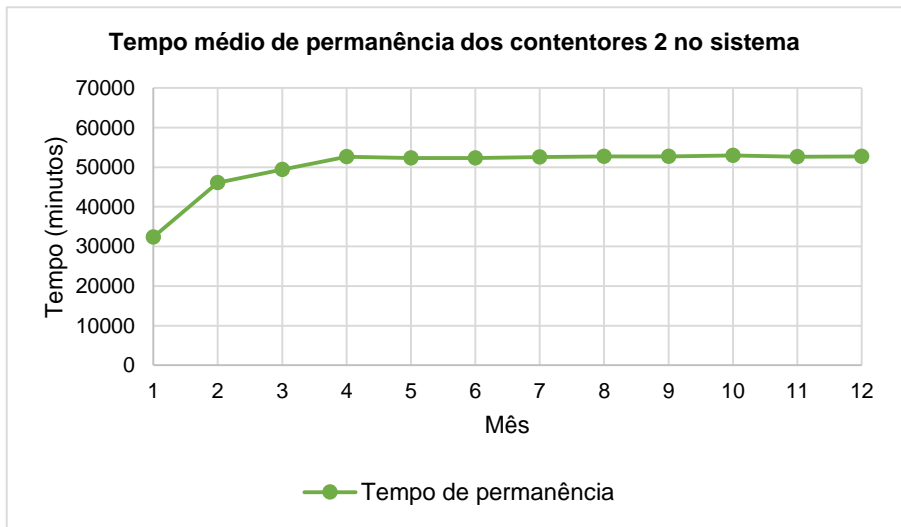


Figura 4.47: Warm Up - Tempo médio de permanência dos contentores 2 no sistema

Embora o gráfico referente ao tempo médio de permanência dos contentores 1 no sistema, da figura 4.46, estabilize a partir do mês 2, o mesmo não se verifica nas restantes medidas de desempenho analisadas. Pela análise das figuras 4.44, 4.45 e 4.47 conclui-se que o tempo médio de permanência dos contentores 1 no sistema bem como o número médio de contentores 1 e 2 só estabilizam a partir do mês 4. Assim conclui-se que o período correto de *Warm Up* a considerar é de 4 meses.

3. Tempo de simulação

Para a determinação deste parâmetro, tal como para o *Warm Up*, é necessário a análise de medidas de desempenho relevantes do sistema. Esta análise consiste na execução de vários *Runs* em simultâneo (considerou-se, também aqui, 5) com o tempo de *Warm Up* definido anteriormente, fazendo variar o tempo de simulação com o intuito de descobrir o instante em que o sistema começa a estabilizar.

Tal como para o *Warm Up*, as medidas de desempenho analisadas foi o número de contentores 1 e 2 à espera para serem carregados, e o tempo de permanência dos contentores 1 e 2 no sistema. Foram consideradas, mais uma vez, 4 medidas de desempenho de forma a assegurar a fiabilidade dos resultados obtidos. Os resultados obtidos podem ser observados nos gráficos das figuras 4.48, 4.49, 4.50 e 4.51 (dados na tabela A.3, em anexo).

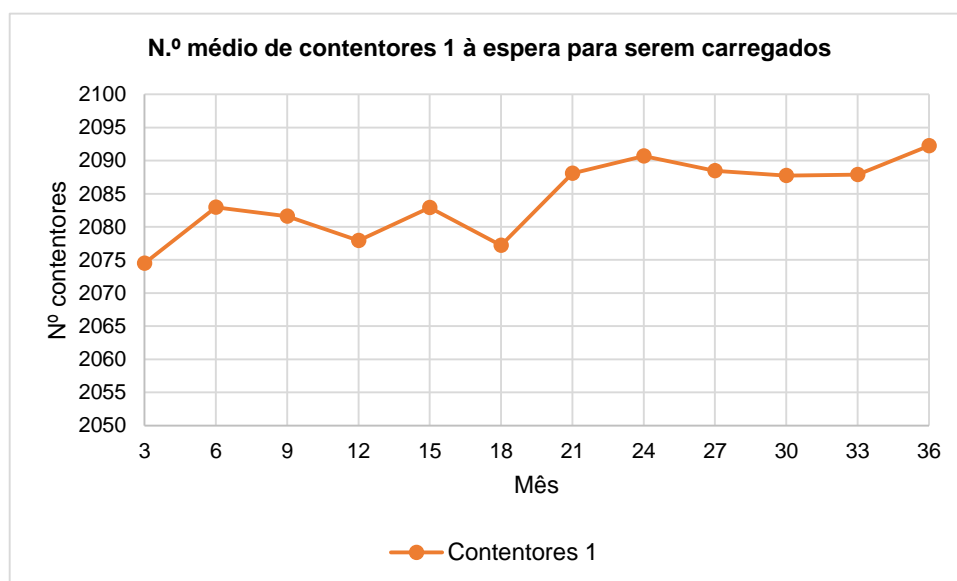


Figura 4.48: Tempo de simulação – N.º médio de contentores 1 à espera para serem carregados

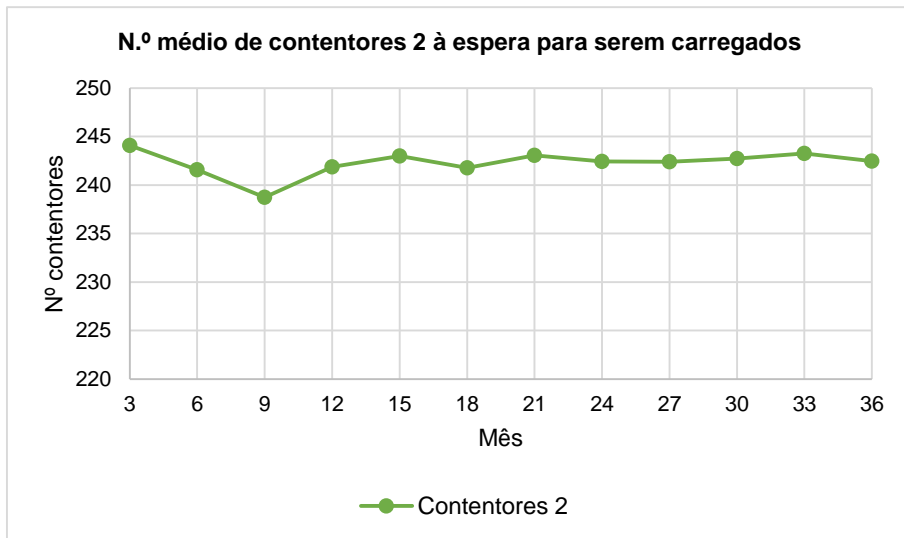


Figura 4.49: Tempo de simulação – N.º médio de contentores 2 à espera para serem carregados

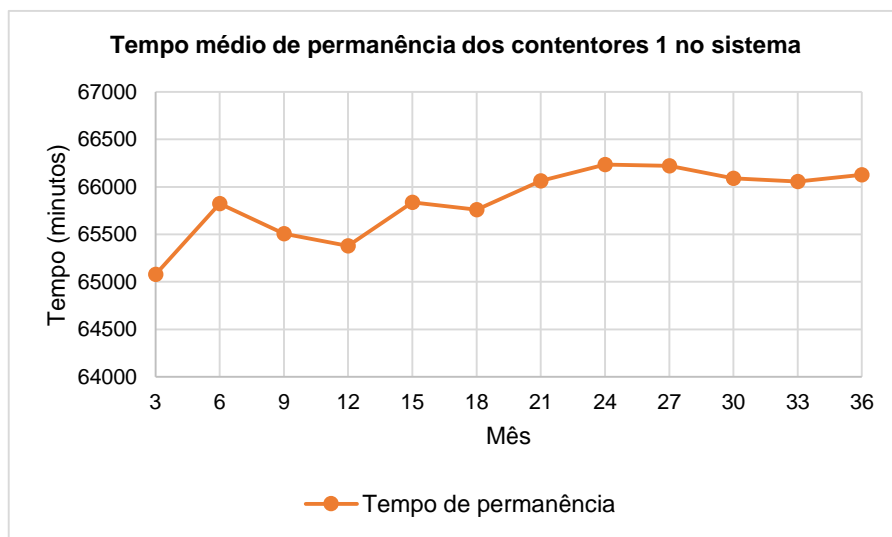


Figura 4.50: Tempo de simulação - Tempo médio de permanência dos contentores 1 no sistema

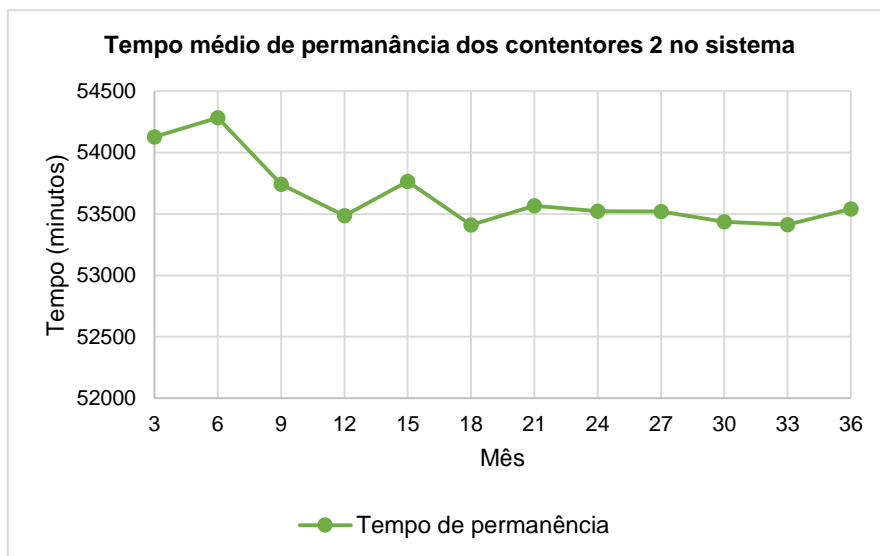


Figura 4.51: Tempo de simulação - Tempo médio de permanência dos contentores 2 no sistema

Como referido, aqui pretende-se identificar qual é o instante em que o sistema começa a estabilizar, sendo que se consegue dados mais fiáveis até este ponto. Pela análise dos gráficos conclui-se que para as 4 medidas de desempenho analisadas, o sistema começa a estabilizar a partir do mês 18. Assim, o tempo de simulação considerado foi de 18 meses.

4. Número de *Runs* a considerar

Outra componente a avaliar, de forma a assegurar a fiabilidades dos resultados, é através da determinação do número de *Runs* que proporcione um erro aceitável ao desvio do valor médio a considerar como resultado. O número de *Runs* (ou corridas) é o número de experiências realizadas com séries de números pseudoaleatórios e independentes de forma a garantir uma melhor precisão nos resultados alcançados. A uma simulação com um determinado número de *Runs* dá-se o nome de *Trial* (ou ensaio).

Assim, para a obtenção de resultados foi utilizado o número médio de entradas de contentores 1 no sistema, tendo sido realizados 3 *Trials* considerando 5, 10 e 15 *Runs*.

Tabela 4.11: Resultados obtidos na determinação do número de *Runs* a considerar

Runs	-95%	Average	95%	Desvio (%)
5	64941,48	65294,20	65646,92	0,54%
10	64931,00	65170,60	65410,20	0,37%
15	65046,67	65227,13	65407,59	0,28%

Nesta componente tem-se que quanto mais extensas forem as experiências de simulação, ou seja, o número de *Runs* a considerar, mais fiáveis serão os resultados sendo que o erro da estimativa diminui com o número de observações segundo a razão de proporção:

$$\varepsilon = Z_{\alpha/2} \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (4)$$

Em que:

n = número de observações independentes

S = desvio-padrão da amostra

$Z_{\alpha/2}$ = parâmetro de uma distribuição normal reduzida

Pela análise dos resultados da tabela 4.11 tem-se que mesmo para o primeiro número de *Runs* analisado, que foi 5, o erro alcançado foi de apenas 0,54%. Sendo um erro reduzido, aceitável e sem impacto nos resultados obtidos, considerou-se este valor como o número de *Runs* a considerar. De realçar que outra forma de se obter o número de *Runs* a considerar seria recorrer à ferramenta do SIMUL8 “*calculate de required number of Runs*”. No entanto, dado o erro obtido ter sido tão baixo não se revelou necessário recorrer a esta opção.

5. Condições impostas ao sistema

Definido o *Warm Up*, o tempo de simulação e o número de *Runs* a considerar torna-se necessário, agora, verificar se os resultados obtidos são coerentes com as condições impostas ao sistema. Assim, e de forma a verificar a fiabilidade dos resultados, analisou-se se o número de contentores a entrar e a sair do sistema, em Leixões e em Luanda, se encontram dentro do pretendido.

Na recolha e análise de dados definiu-se como objetivo o transporte anual de 47 259 contentores de Leixões para Luanda e de 6 146 contentores de Luanda para Leixões. Durante esta fase do processo, de estabilização do sistema, definiu-se 18 meses como tempo de simulação pelo que se torna necessário, então, saber qual o número de contentores que teoricamente devem entrar (e, conseqüentemente sair) do sistema. Para isso é importante realçar um importante pormenor: o SIMUL8 considera que uma semana tem 7 dias, e que um mês tem 4 semanas. Ou seja, 1 mês tem 28 dias. Como o tempo de simulação foi considerado de 18 meses conclui-se, então, que o tempo de simulação considerado foi de 504 dias.

Assim, tem-se que, teoricamente, em 504 dias devem ser transportados 65 256 contentores de Leixões para Luanda e 8 487 contentores de Luanda para Leixões. A tabela 4.12 compara a entrada e saída teórica de contentores com os valores obtidos no modelo bem como o respetivo erro.

Tabela 4.12: Verificação do erro obtido na entrada e saída de contentores

	Entrada	Entrada teórica	Erro	Saída	Saída teórica	Erro
Contentores 1	69084	65256	5,87%	65227	65256	0,04%
Contentores 2	8656	8487	1,99%	8368	8487	1,40%

Considerando como aceitável um erro de 10% conclui-se que o modelo produz resultados coerentes com as condições impostas ao sistema.

Por fim, foi mencionado na fase 1 deste processo de validação do modelo que o erro obtido nos contentores verificados em Luanda foi elevado (cerca de 35%), o que poderia pôr em causa a fiabilidade do modelo. Assim, e agora com os dados a utilizar para a obtenção de resultados, importa verificar o erro em relação ao valor teórico desta atividade.

Tabela 4.13: Verificação do número de contentores a inspeccionar

	Entrada	Inspeção	% Teórica de Inspeção	% Observada de Inspeção	Erro
Contentores 1	69084	685	1,00%	0,99%	0,85%
Contentores 2	8656	170	2,00%	1,96%	1,80%

Tabela 4.14: Verificação do número de contentores a verificar

	Saída	Verificação	% Teórica de Verificação	% Observada de Verificação	Erro
Contentores 1	65227	1317	2,00%	2,02%	0,96%
Contentores 2	8368	342	4,00%	4,09%	2,17%

Como as tabelas 4.13 e 4.14 sugerem, avaliou-se não só a atividade de verificação de contentores em Luanda como todas as atividades de inspeção/verificação de contentores, tanto em Luanda como em Leixões. Pela análise dos resultados conclui-se que o erro obtido face ao valor teórico, nestas 4 atividades, varia entre os 0,85% e os 2,17%, o que é perfeitamente aceitável.

Posto isto, dá-se por concluído o processo de validação e verificação do modelo onde se atestou a correta funcionalidade e fiabilidade do mesmo.

4.4 Planeamento das experiências e Análise de resultados

Neste ponto pretende-se apresentar os resultados obtidos durante as experiências realizadas. Ao longo das experiências foi-se adaptando a regularidade do serviço, bem como a velocidade do navio, além de se verificar se a capacidade máxima do navio é a adequada. Estas adaptações foram feitas com vista a obter resultados satisfatórios, ou seja, procurou-se obter a melhor configuração com vista a obter um transporte eficaz. Assim, os resultados que se pretendem analisar são o atraso verificado nas partidas do navio, a sua taxa de ocupação média, e o tempo de permanência dos contentores no sistema.

Foram realizadas, então, 4 experiências variando:

- Periodicidade do serviço oferecido;
- Número de navios a considerar;
- Velocidade do navio.

Posto isto, na primeira experiência realizada considerou-se a velocidade do navio como sendo de 23 nós, e a sua capacidade como sendo de 4000 TEU. Foi considerada uma partida do navio uma vez por mês, em ambos os portos, à segunda-feira às 08:00h. Os resultados são apresentados nas figuras 4.52 e 4.53 do próximo capítulo.

4.4.1 Experiência 1

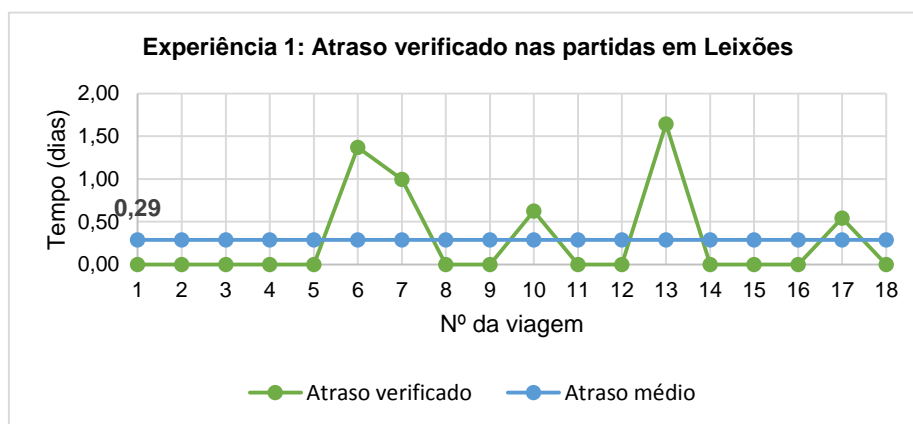


Figura 4.52: Resultados Experiência 1 - Atraso verificado nas partidas em Leixões

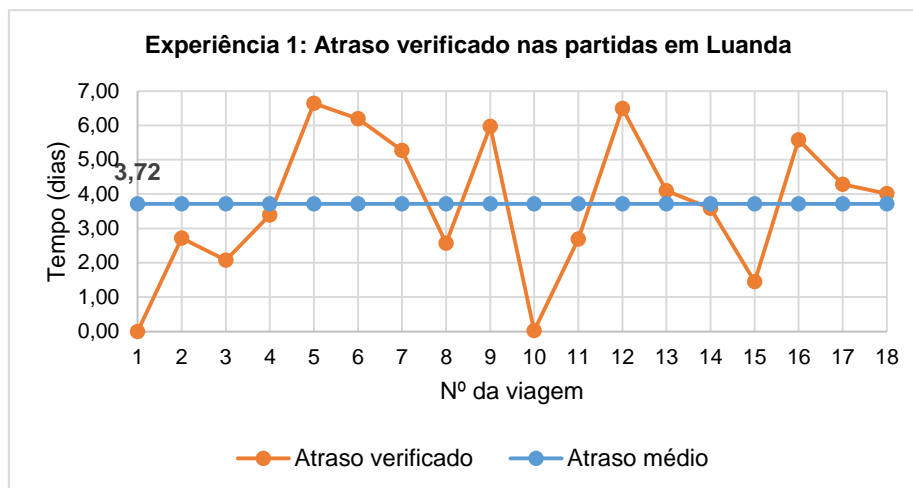


Figura 4.53: Resultados Experiência 1 - Atraso verificado nas partidas em Luanda

Em primeiro lugar interessa analisar a regularidade do serviço. Se não se consegue obter um serviço regular então a sua viabilidade é posta em causa. Pela análise das figuras 4.52 e 4.53 conclui-se que o atraso verificado em Leixões não é significativo, sendo de, em média, apenas 0,29 dias (cerca de 7 horas). No entanto, o atraso médio verificado em Luanda é de 3,72 dias sendo que, nalgumas viagens, verificou-se um atraso superior a 6 dias, o que é considerado inaceitável.

O atraso verificado em Luanda é justificado, essencialmente, pelo elevado número de contentores a carregar e a descarregar durante a viagem com origem em Leixões e destino em Luanda (consultar tabela A.5, em anexo). Dado que são transportados mais contentores entre Leixões e Luanda do que entre Luanda e Leixões, então é natural que a viagem entre Leixões e Luanda tenha uma duração maior devido à duração das atividades de carregamento e descarregamento. Estes fatores resultam, então, no atraso das partidas em Luanda.

A conclusão que se retirou desta primeira experiência, então, é que a duração do percurso entre Leixões e Luanda é superior à duração do percurso entre Luanda e Leixões. Então decidiu-se atrasar a partida de Luanda em 3 dias de forma a considerar que a duração da viagem entre Leixões e Luanda é substancialmente superior do que no sentido inverso. Adicionalmente, e como a figura 4.54 sugere, concluiu-se que a capacidade do navio para 4000 contentores é suficiente, sendo que a taxa média de ocupação do navio, durante as viagens de Leixões para Luanda, foi de 95,46%.

Nota: Os resultados obtidos tanto para os atrasos verificados como para a taxa de ocupação dizem respeito apenas a um *Run*. No entanto, este facto não compromete a fiabilidade dos resultados já que o desvio obtido entre *Runs* não é considerável, como a tabela 4.11 da página 68 sugere.

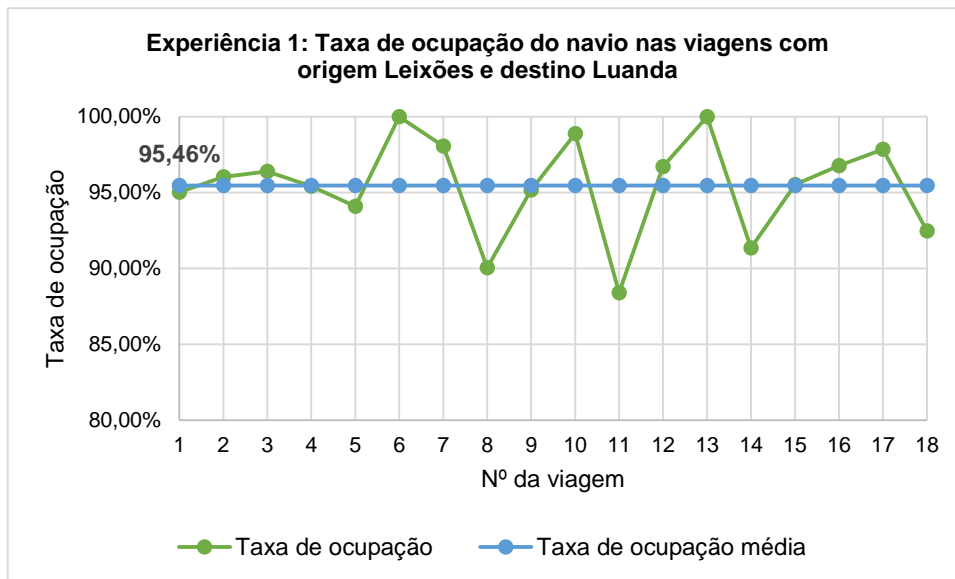


Figura 4.54: Resultados Experiência 1 – Ocupação do navio nas viagens provenientes de Leixões

4.4.2 Experiência 2

Na segunda experiência realizada considerou-se que, mensalmente, parte um navio de Leixões segunda-feira às 08:00 h e parte um navio de Luanda quinta-feira às 08:00 h. Considerou-se, tal como para a primeira experiência, que o navio navega a 23 nós e a que a capacidade máxima é de 4000 TEU.

As figuras abaixo, 4.55 e 4.56, indicam o atraso observado nas viagens realizadas.

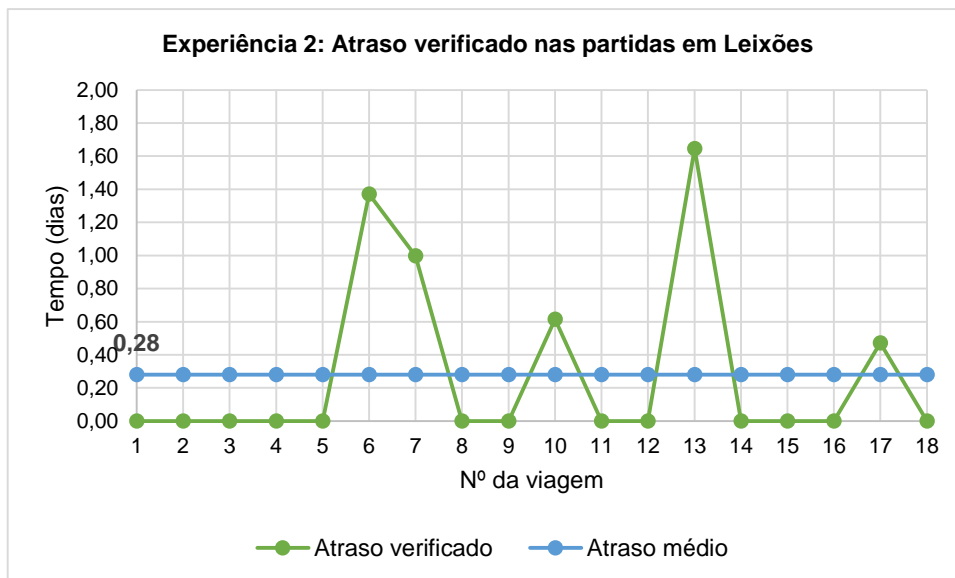


Figura 4.55: Resultados Experiência 2 - Atraso verificado nas partidas em Leixões

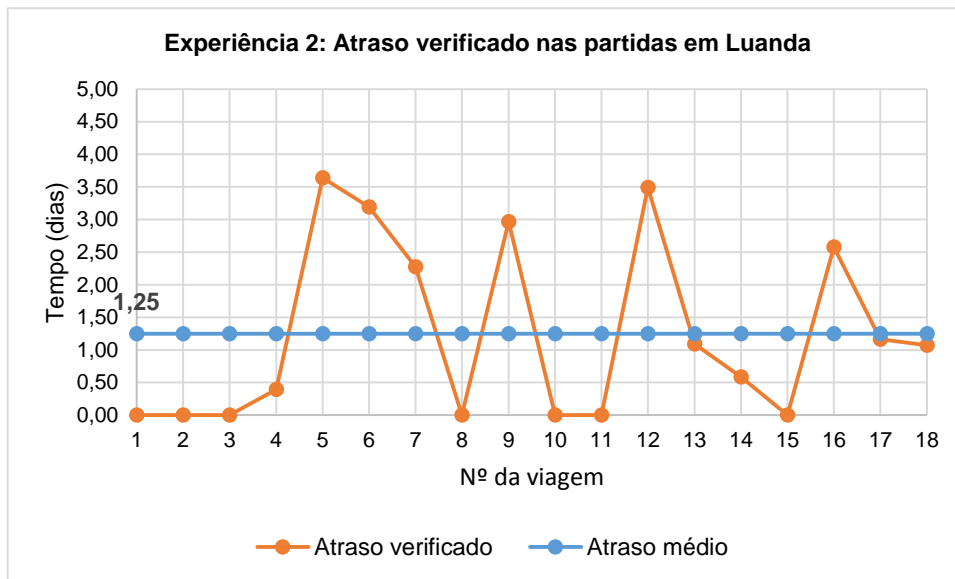


Figura 4.56: Resultados Experiência 2 - Atraso verificado nas partidas em Luanda

Como as figuras 4.55 e 4.56 sugerem, observou-se uma clara melhoria na regularidade do serviço nas partidas em Luanda. Na primeira experiência verificou-se um atraso médio de 3,72 dias, enquanto para esta opção o atraso verificado foi de 1,25 dias. Do lado de Leixões o atraso médio não apresentou grandes variações, descendo de 0,29 dias para 0,28 dias, o que representa uma melhoria de cerca de 7 horas. Assim, conclui-se que efetivamente fez sentido atrasar as partidas de Luanda em 3 dias, verificando-se claras melhorias no novo horário.

No entanto, ainda assim um atraso médio de 1,25 dias não parece ser aceitável, sendo que existiram viagens provenientes de Luanda que tiveram início quase 4 dias depois do horário previsto. A partir deste ponto não é lógico atrasar em mais dias a viagem com origem em Luanda, pois o que se verificará é que embora haja uma melhoria no atraso médio das viagens com origem em Luanda, as viagens com origem em Leixões apresentarão um atraso maior que ao observado atualmente. Assim existiria um serviço cujas partidas não eram regulares em qualquer das origens.

Além disso, e nesta segunda experiência, o tempo médio de permanência dos contentores no sistema observado foi cerca de 46 dias para os contentores com origem em Leixões e de 37 dias para os contentores com origem em Luanda (consultar tabela 4.15 da página 76), o que não representa uma melhoria face aos tempos apresentados na realidade atual.

Dados estes factos, decidiu-se adicionar mais um navio ao sistema. Com este novo navio pretende avaliar-se, então, as melhorias (ou não) alcançadas ao nível dos atrasos verificados bem como se se consegue obter uma diminuição do tempo médio de permanência dos contentores no sistema.

Assim, e para a terceira experiência, considerou-se que:

- Existem partidas quinzenais de Leixões segunda-feira às 08:00h;
- Existem partidas quinzenais de Luanda quinta-feira às 08:00h;
- O navio navega a 23 nós e tem uma capacidade máxima de 2000 TEU.

4.4.3 Experiência 3

Para esta configuração obtém-se a regularidade desejada. Nas partidas com origem em Leixões verificou-se que todas ocorreram à hora prevista (ver tabela A.8 em anexo), enquanto nas partidas em Luanda verificou-se um atraso médio de 2,57 horas (0,11 dias), como a figura 4.57 sugere.

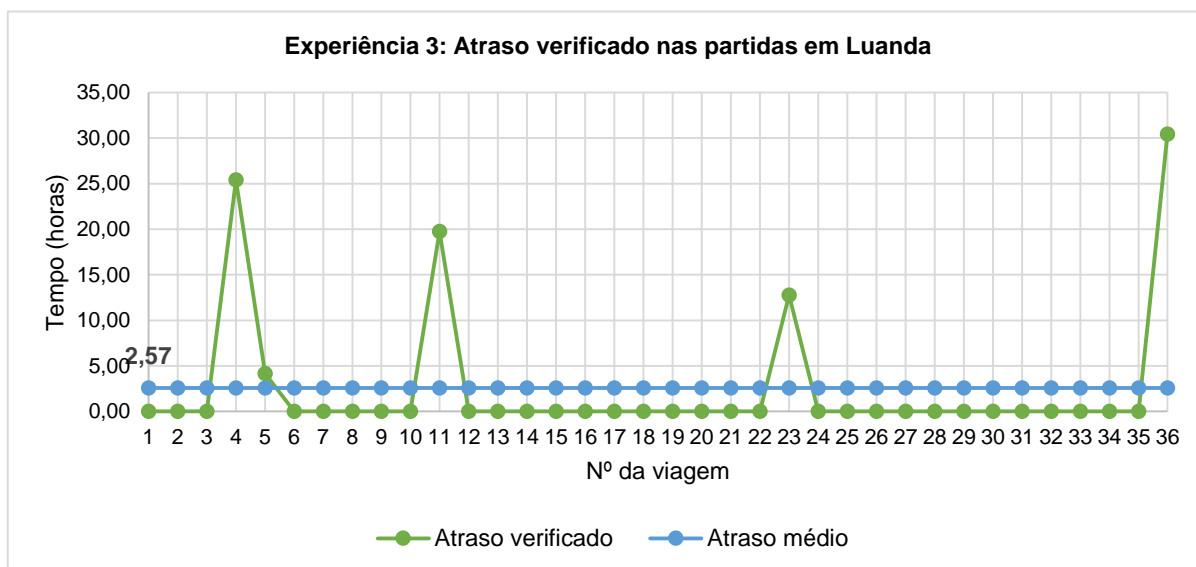


Figura 4.57: Resultados Experiência 3 - Atraso verificado nas partidas em Luanda

De notar que, ao contrário dos restantes gráficos apresentados, este apresenta os valores do atraso em horas. Além disso, como para esta opção se tem partidas quinzenais, são apresentados resultados para 36 viagens. Em relação aos resultados, pela análise da figura 4.57 conclui-se que a maior partes das partidas ocorreram à hora prevista, verificando-se um atraso em apenas 5 ocasiões.

Também a capacidade do navio se revela adequada, como a figura 4.58 sugere, sendo que a taxa de ocupação média se situou nos 95,49%.

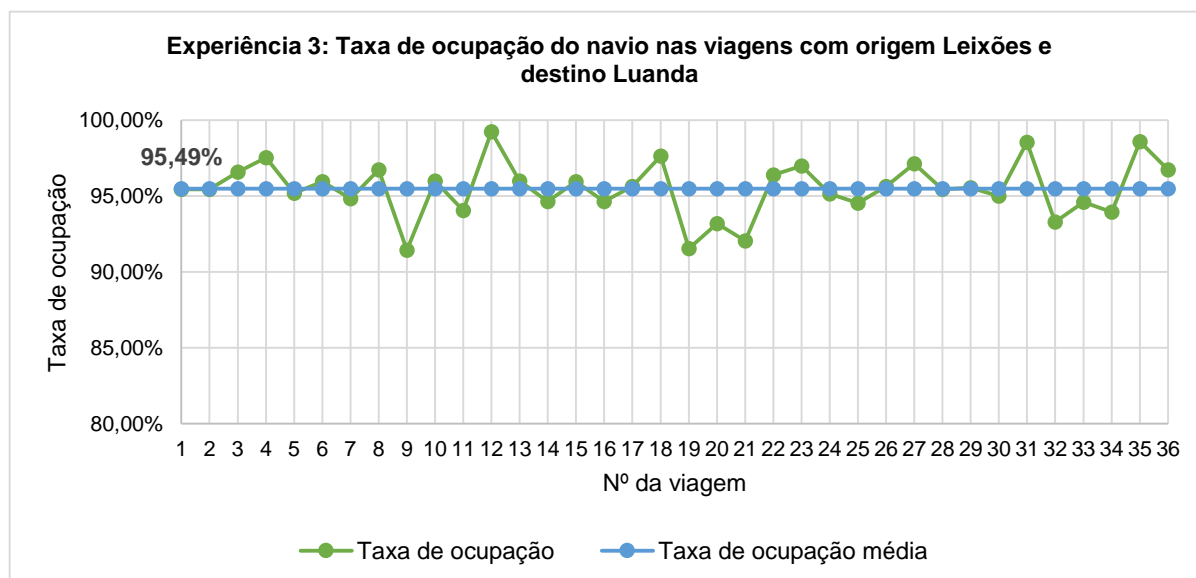


Figura 4.58: Resultados Experiência 3 – Ocupação do navio nas viagens provenientes de Leixões

Dada a rigorosa regularidade do serviço obtida nesta experiência, achou-se pertinente testar o atraso obtido diminuindo a velocidade do navio. Como apresentado na recolha e análise de dados, uma velocidade considerada reduzida, com vista a obter uma economia no consumo de combustível, situa-se entre os 18 e os 20 nós. Assim, na quarta e última experiência realizada, considerou-se que o navio navega a 18 nós, sendo que se manteve as restantes componentes iguais às da experiência 3.

4.4.4 Experiência 4

Como seria de esperar, a regularidade do serviço obtida nesta experiência não é tão precisa como a obtida na experiência anterior. Pela análise das figuras 4.58 e 4.59, referentes ao atraso verificado nas partidas em ambos os portos, conclui-se que o atraso médio verificado nas partidas com origem em Leixões é de 0,56 dias, enquanto que nas partidas com origem em Luanda é de 0,68 dias. No entanto, e em ambos os portos, registaram-se, em algumas partidas, atrasos superiores a 5 dias, o que poderá por em causa a viabilidade desta opção.

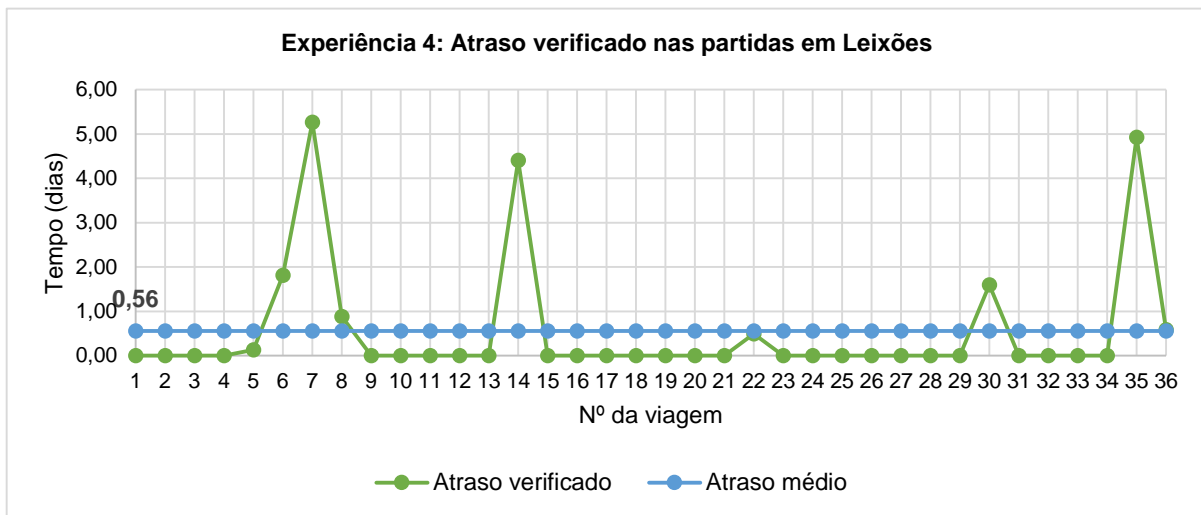


Figura 4.59: Resultados Experiência 4 - Atraso verificado nas partidas em Leixões

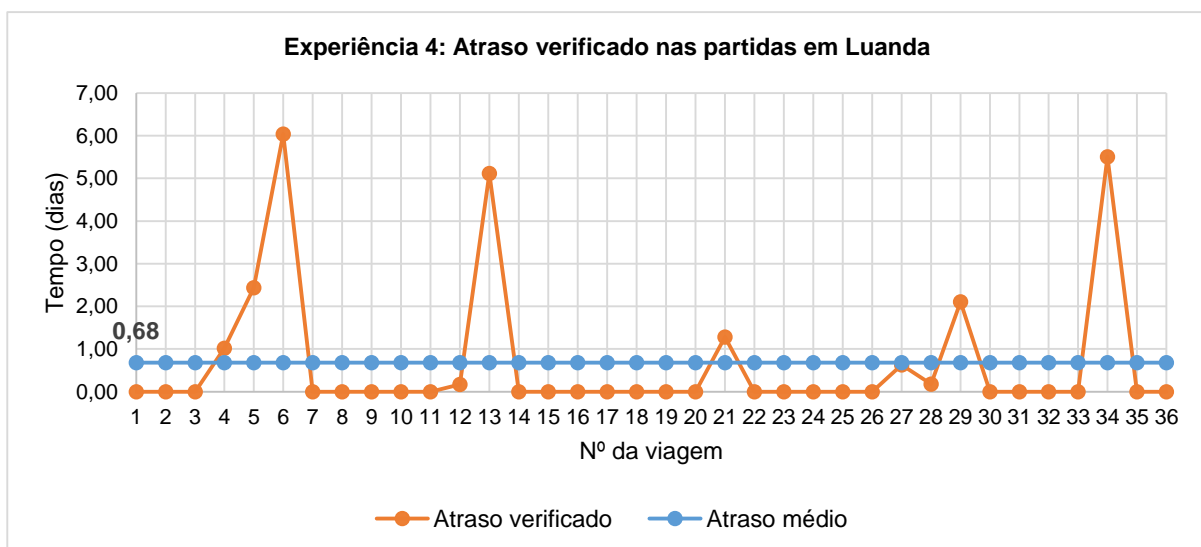


Figura 4.60: Resultados Experiência 4 - Atraso verificado nas partidas em Luanda

4.4.5 Resumo das experiências e conclusões retiradas

Para que se consiga retirar conclusões intuitivas, elaborou-se um quadro resumo das componentes que importam analisar relativamente às 4 experiências realizadas.

Tabela 4.15: Resultados – Quadro resumo das experiências

Resumo	Experiência 1	Experiência 2	Experiência 3	Experiência 4
Periodicidade	Mensal	Mensal	Quinzenal	Quinzenal
N.º de navios	1	1	2	2
Velocidade do(s) navio (s)	23 nós	23 nós	23 nós	18 nós
Capacidade do(s) navio(s)	4000 TEU	4000 TEU	2000 TEU	2000 TEU
Partidas de Leixões	segunda às 08:00h	segunda às 08:00h	segunda às 08:00h	segunda às 08:00h
Partidas de Luanda	segunda às 08:00h	quinta às 08:00h	quinta às 08:00h	quinta às 08:00h
Viagens realizadas durante a simulação	36	36	72	72
Partidas horário previsto	14	20	67	53
Partidas atrasadas	22	16	5	19
% Partidas horários previsto	38,89%	55,56%	93,06%	73,61%
% Partidas atrasadas	61,11%	44,44%	6,94%	26,39%
Atraso médio das partidas em Leixões (em dias)	0,29	0,28	0,00	0,56
Atraso médio das partidas em Luanda (em dias)	3,72	1,25	0,11	0,68
Atraso médio global das partidas (em dias)	2,01	0,77	0,06	0,62
Taxa de ocupação média (Leixões -> Luanda)	95,46%	95,46%	95,49%	95,63%
Taxa de ocupação média (Luanda -> Leixões)	12,03%	12,00%	12,03%	11,97%
Taxa de ocupação média global	53,75%	53,73%	53,76%	53,80%
Contentores 1: Tempo médio de permanência no sistema (em dias)	45,67	45,65	29,31	32,27
Contentores 2: Tempo médio de permanência no sistema (em dias)	37,09	36,86	22,47	24,40

Pela análise dos dados obtidos conclui-se, em primeiro lugar, que na experiência 1 não se obtém uma regularidade no serviço aceitável. Nesta experiência verificou-se um atraso médio, no início da atividade de transporte com origem em Luanda, de 3,72 dias.

Os resultados obtidos na experiência 2, em termos globais, são mais aceitáveis. Para esta opção, embora tenha existido um atraso no início da atividade do transporte em 44% das viagens realizadas, o atraso médio global foi de 0,77 dias, que parece ser um valor aceitável. No entanto, e segundo a análise detalhada desta opção no ponto 4.3.6.2, observou-se que existiram viagens provenientes de Luanda que tiveram início quase 4 dias depois do horário previsto, o que compromete a sua viabilidade.

Dado que os resultados obtidos nas primeiras duas experiências, em que o serviço é efetuado mensalmente e com recurso a apenas um navio, não foram satisfatórios optou-se por introduzir mais um navio no sistema. Assim, nas experiências 3 e 4 o serviço é efetuado quinzenalmente, e assegurado por 2 navios com capacidade para 2000 TEU.

A análise dos resultados da experiência 3 permite concluir que para esta configuração é obtido um serviço altamente regular, em que o início da atividade de transporte ocorreu à hora prevista em 93,06% das vezes. Para esta opção o atraso médio global foi de 0,06 dias (1,44 horas), o que é perfeitamente aceitável.

Por fim, na experiência 4 considerou-se que o navio circula a uma velocidade mais reduzida, de forma a conseguir um transporte mais económico. Para esta opção registou-se um atraso global de 0,62 dias (cerca de 15 horas), onde o início da atividade de transporte ocorreu à hora prevista em 73,61% das ocasiões.

Dadas as quatro experiências realizadas, não há dúvida que a configuração obtida na experiência 3, em termos de nível de serviço, é a mais vantajosa. Para esta opção o tempo médio de permanência no sistema dos contentores 1 é de 29,31 dias, embora na descrição da realidade atual se tenha referido que atualmente existem armadores que asseguram a viagem entre Leixões e Luanda em apenas 17 dias. No entanto, estes 29,31 dias consideram, também, a possibilidade de um contentor ser inspecionado/verificado durante o percurso, se bem que, ainda assim, não parece ser muito vantajoso face ao serviço atualmente oferecido pelos armadores. Mas se na viagem entre Leixões e Luanda não parece existir grandes melhorias, na viagem entre Luanda e Leixões a situação inverte-se. O serviço disponibilizado na experiência 3 permite alcançar um tempo médio de permanência no sistema de apenas 22,47 dias face aos 30 dias (estes 30 dias consideram apenas a viagem) que atualmente a maioria dos armadores apresenta. Assim, e avaliando estas componentes, o serviço avaliado é viável.

Por fim mencionar um fator importantíssimo: as taxas de ocupação do navio. A taxa de ocupação verificada em qualquer uma das experiências na viagem entre Luanda e Leixões foi de apenas 12%. Em termos económicos, que estão fora do âmbito desta dissertação, este fator pode pôr em causa a viabilidade do serviço. No entanto, todo este processo foi feito, por falta de dados, não considerando a transação de contentores vazios entre o porto de Leixões e o porto de Luanda. Num trabalho futuro este poderá ser um fator a ter em conta.

5 Conclusões finais e desenvolvimento futuro

Portugal e Angola são importantes parceiros comerciais, sendo Portugal o principal país fornecedor de bens de Angola, e Angola o principal parceiro de exportação e importação extra comunitário de Portugal. Este facto foi a principal motivação à realização desta dissertação, em que se pretendeu avaliar a viabilidade de uma cadeia de transporte marítima porta-a-porta entre o porto de Leixões e o porto de Luanda capaz de satisfazer e fomentar o desenvolvimento das trocas comerciais bilaterais entre Angola e Portugal.

Embora não seja comum a simulação de cadeias de transporte porta-a-porta, a simulação de eventos discretos, aliada ao *software* SIMUL8, revelou-se como uma ferramenta capaz de avaliar o problema em causa. Durante a fase da construção do modelo de simulação no SIMUL8 foram vários os problemas enfrentados, sendo o grande destaque a dificuldade, à primeira vista, de fazer um *collect* de um número variável de *work items*. No entanto, a versatilidade do *software* utilizado, que permite, através da função Visual Logic, a introdução de linhas de código básicas em linguagem Visual Basic, permitiu resolver o problema.

Atualmente, não existe um serviço de transporte porta-a-porta entre Portugal e Angola, sendo que em todos os serviços oferecidos os navios fazem escalas em vários países. Assim, o modelo desenvolvido permitiu avaliar quais os fatores necessários para que se consiga obter um serviço de transporte regular entre o porto de Leixões e Luanda. Foram analisadas quatro opções diferentes: duas com periodicidade mensal e duas com periodicidade quinzenal. Das quatro opções analisadas, concluiu-se que, em termos de níveis de serviço, a opção mais viável passa por oferecer um serviço com periodicidade quinzenal, assegurado por dois navios com capacidade para 2000 TEU. Para esta opção verificou-se um atraso médio global de apenas 1,44 horas, o que é totalmente aceitável.

Embora o serviço de transporte desenvolvido não apresente grandes melhorias, face à realidade atual, no que se refere ao transporte entre Leixões e Luanda, a situação inverte-se quando se analisa o percurso contrário. Para o transporte entre Luanda e Leixões o tempo médio de permanência no sistema observado foi cerca de 22 dias, enquanto atualmente a maioria dos armadores anuncia 30 dias só para a viagem.

No entanto, a taxa de ocupação do navio acaba por pôr em causa a viabilidade deste serviço. Embora se verifique uma taxa de ocupação média de 95% no transporte entre Leixões e Luanda, o mesmo não acontece no sentido Luanda Leixões, onde a taxa de ocupação média dos navios se fica pelos 12%.

Por um lado, esta taxa pode, e deve, ser aumentada no futuro com o aumento das importações provenientes de Angola. Por outro lado pode ser interessante, num trabalho futuro, avaliar a transação de contentores vazios entre estes dois países. Se for um número significativo, é possível obter-se uma taxa média de ocupação do navio, na viagem entre Luanda e Leixões, mais aceitável.

Referências

- African Development Bank. (2013). Angolan Economy - Quarterly Economic Bulletin, (2).
- Aguirre, A., Müller, E., Seffino, S., & Méndez, C. A. (2008). Applying a Simulation-based Tool to Productivity Management in an Automotive-parts Industry. In *Proceedings of the 40th Conference on Winter Simulation* (pp. 1838–1846). Winter Simulation Conference.
- aicep Portugal Global. (2012). *Angola - Ficha de Mercado*.
- aicep Portugal Global. (2013a). *Angola – Síntese País e Relacionamento Bilateral*.
- aicep Portugal Global. (2013b). *Portugal - Ficha País*.
- Beamon, B. M. (1998). Supply chain design and analysis: *International Journal of Production Economics*, 55(3), 281–294.
- Bookbinder, J. H., Meixell, M. J., & Gargeya, V. B. (2005). Global supply chain design: A literature review and critique. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 41(6), 531–550.
- Brailsford, S., & Hilton, N. (2001). *A Comparison of Discrete Event Simulation and SystemDynamics for Modelling Healthcare Systems*. University of Southampton, UK.
- Carôco, A. M. F. (2013). *Simulação de uma Cadeia Logística de Transporte de Mercadorias: A problemática das emissões de carbono*. Instituto Superior Técnico.
- Carteni, A., & Luca, S. de. (2012). Tactical and strategic planning for a container terminal: Modelling issues within a discrete event simulation approach. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 21(1), 123–145.
- CSCMP (Council of Supply Chain Management Professionals). (2013). *CSCMP Supply Chain Management Definitions*.
- David, P., & Stewart, R. (2010). *International Logistics – The Management of International Trade Operations* (3rd ed.). Atomic Dog.
- DW. (2012). Dez anos acordo de paz: A difícil construção de uma nova Angola. Retrieved October 16, 2013, from <http://www.dw.de/dez-anos-acordo-de-paz-a-dificil-construção-de-uma-nova-angola/a-15842277>
- Ellram, L. M., Stock, J. R., Lambert, D. M., & Grant, D. B. (2006). *Fundamentals of Logistics Management - European Edition*. McGraw-Hill.
- FORDESI. (2013). *Estudo de Mercado no Âmbito do Espaço CPLP*.
- Iannoni, A. P., & Morabito, R. (2006). A discrete simulation analysis of a logistics supply system. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 42, 191–210.
- Instituto Nacional de Estatística. (2011). *Estatísticas do Comércio Internacional 2010*. Lisboa.
- Instituto Nacional de Estatística. (2013). *Estatísticas do Comércio Internacional 2012*. Lisboa.
- Jover, E., Pinto, A. L., & Marchand, A. (2012). *Angola - Private Sector Country Profile*.

- Lambert, D. M., & Cooper, M. C. (2000). Issues in Supply Chain Management. *Industrial Marketing Management*, 29(1), 65–83.
- Lane, D. C. (2000). *You just don't understand me: modes of failure and success in the discourse between system dynamics and discrete event simulation*. Department of Operational Research. London School of Economics and Political Science, London, UK.
- Lowe, D. (2005). *Intermodal Freight Transport* (1st ed., p. 299). Elsevier.
- Marinov, M., Reis, V., Fabian Meier, J., Pace, G., & Palacin, R. (2013). Rail and multi-modal transport. *Research in Transportation Economics*, 41(1), 17–30.
- Min, H., & Zhou, G. (2002). Supply chain modeling: past, present and future. *Computers & Industrial Engineering*, 43(1), 231–249.
- Miyagi, P. E. (2006). *Introdução à Simulação Discreta*. Universidade de São Paulo.
- Persson, F., & Olhager, J. (2002). Performance simulation of supply chain designs. *International Journal of Production Economics*, 77(3), 231–245.
- Pidd, M. (1998). *Computer Simulation in Management Science* (4th ed.). New York, USA: John Wiley and Sons.
- Porta Nova, A. M. de O. (2008). *Apontamentos de Simulação*. Instituto Superior Técnico.
- Robinson, S. (2005). Discrete-event simulation: from the pioneers to the presente, what next? *Journal of the Operational Research Society*.
- Shalliker, J., & Ricketts, C. (2002). An Introduction to SIMUL8, Release Nine. *School of Mathematics and Statistics, University of Plymouth, Plymouth, UK*.
- Simchi-Levi, D., Kaminsky, P., & Simchi-Levi, E. (2007). *Designing and Managing the Supply Chain—Concepts, strategies and case studies* (2nd ed.). McGraw-Hill Irwin.
- SIMUL8 Corporation. (2014). Distributions. Retrieved September 10, 2014, from <http://simul8.com/support/help/doku.php?id=features:distributions>
- Tako, A. A., & Robinson, S. (2010). Model development in discrete-event simulation and system dynamics: An empirical study of expert modellers. *European Journal of Operational Research*, 207, 784–794.
- The Observatory of Economic complexity. (2013). Where does Angola import from? Retrieved November 10, 2013, from http://atlas.media.mit.edu/explore/tree_map/import/ago/show/all/2006/
- The Observatory of Economic complexity. (2014a). Products exported by Angola (2002). Retrieved March 10, 2014, from http://atlas.media.mit.edu/explore/tree_map/hs/export/ago/all/show/2002/
- The Observatory of Economic complexity. (2014b). Products exported by Angola (2011). Retrieved March 10, 2014, from http://atlas.media.mit.edu/explore/tree_map/hs/export/ago/all/show/2011/
- The Observatory of Economic complexity. (2014c). Products imported by Angola (2002). Retrieved March 10, 2014, from http://atlas.media.mit.edu/explore/tree_map/hs/import/ago/all/show/2002/
- The Observatory of Economic complexity. (2014d). Products imported by Angola (2011). Retrieved March 10, 2014, from http://atlas.media.mit.edu/explore/tree_map/hs/import/ago/all/show/2011/

- Tsekeris, T., & Ntemoli, P. (2011). Simulation-based Design of Large-Scale Supply Chain Networks: The Case of Automobile Industry. *Scientific Journal of Maritime Research*.
- Tsiakis, P., Shah, N., & Pantelides, C. C. (2001). Design of Multi-echelon Supply Chain Networks under Demand Uncertainty. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 40(16), 3585–3604.
- United Nations. (2001). Terminology on combined transport. Geneva (Switzerland): United Nations.
- Velasco, A. M. (2012). *Design of a Distribution Operation Using Discrete Event-Based Simulation*. Instituto Superior Técnico.
- Wolstenholme, E. F. (1990). *System enquiry: a system dynamics approach*. New York, USA: John Wiley & Sons.

Anexos

Tabela A.1: Duração da viagem em função da velocidade do navio

Nós	Km/h	duração de viagem de 7500 km em:		
		Horas	Dias	Minutos
1	1,85	4054,05	168,92	243243,24
14	25,93	289,24	12,05	17354,42
15	27,78	269,98	11,25	16198,70
16	29,63	253,12	10,55	15187,31
17	31,48	238,25	9,93	14294,79
18	33,34	224,96	9,37	13497,30
19	35,19	213,13	8,88	12787,72
20	37,04	202,48	8,44	12149,03
21	38,89	192,85	8,04	11571,10
22	40,74	184,09	7,67	11045,66
23	42,60	176,06	7,34	10563,38
24	44,45	168,73	7,03	10123,73

Tabela A.2: Resultados obtidos para a definição do Warm Up

Mês	Contentores 1: nº médio em espera (1)	Contentores 2: nº médio em espera (2)	Contentores 1: tempo médio permanência (3)	Contentores 2: tempo médio permanência (4)
1	2018,21	142,44	10610,74	32321,15
2	2040,58	216,59	64825,4	46100,17
3	2063,55	226,7	65366,86	49446,61
4	2069,38	231,94	66278,34	52683,12
5	2070,59	231,67	66130,6	52316,46
6	2068,45	232,28	65663,13	52349,02
7	2067,18	233,5	65509,22	52567
8	2068,04	233,81	65514,57	52738,25
9	2071,32	236,82	65937,7	52753,76
10	2073,75	235,4	66114,48	53009,49
11	2073,53	232,78	65769,87	52665,88
12	2073,23	234,57	65739,25	52737,49

Tabela A.3: Valores obtidos na definição do tempo de simulação

Mês	Media fila 1	Media fila 2	Permanência 1	Permanência 2
3	2074,48	244,07	65077,78	54126,50
6	2082,94	241,58	65822,25	54283,02
9	2081,59	238,74	65508,56	53741,48
12	2077,93	241,86	65380,35	53486,48
15	2082,90	243,00	65836,79	53765,39
18	2077,19	241,76	65758,37	53410,51
21	2088,08	243,06	66064,12	53568,02
24	2090,71	242,44	66235,74	53523,74
27	2088,47	242,39	66220,03	53521,38
30	2087,75	242,74	66090,37	53436,52
33	2087,87	243,26	66055,40	53413,04
36	2092,25	242,48	66125,93	53542,28

Tabela A.4: Atraso verificado na Experiência 1

Viagem nº	partidas de Leixões			partidas de Luanda		
	Atraso observado em:			Atraso observado em:		
	Minutos	Horas	Dias	Minutos	Horas	Dias
1	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
2	0	0,00	0,00	3915	65,25	2,72
3	0	0,00	0,00	2985	49,75	2,07
4	0	0,00	0,00	4885	81,42	3,39
5	0	0,00	0,00	9560	159,33	6,64
6	1975	32,92	1,37	8915	148,58	6,19
7	1435	23,92	1,00	7595	126,58	5,27
8	0	0,00	0,00	3700	61,67	2,57
9	0	0,00	0,00	8595	143,25	5,97
10	900	15,00	0,63	30	0,50	0,02
11	0	0,00	0,00	3875	64,58	2,69
12	0	0,00	0,00	9345	155,75	6,49
13	2370	39,50	1,65	5895	98,25	4,09
14	0	0,00	0,00	5165	86,08	3,59
15	0	0,00	0,00	2085	34,75	1,45
16	0	0,00	0,00	8035	133,92	5,58
17	780	13,00	0,54	6170	102,83	4,28
18	0	0,00	0,00	5775	96,25	4,01
Atraso médio	414,44	6,91	0,29	5362,50	89,38	3,72

Tabela A.5: Taxa de ocupação do navio na Experiência 1

Viagem	partidas de Leixões		partidas de Luanda	
	Contentores transportados	Taxa de ocupação	Contentores transportados	Taxa de ocupação
1	3801	95,03%	400	10,00%
2	3841	96,03%	571	14,28%
3	3856	96,40%	452	11,30%
4	3817	95,43%	511	12,78%
5	3764	94,10%	523	13,08%
6	4000	100,00%	461	11,53%
7	3922	98,05%	487	12,18%
8	3602	90,05%	420	10,50%
9	3807	95,18%	511	12,78%
10	3955	98,88%	354	8,85%
11	3536	88,40%	549	13,73%
12	3868	96,70%	526	13,15%
13	4000	100,00%	446	11,15%
14	3654	91,35%	473	11,83%
15	3821	95,53%	464	11,60%
16	3871	96,78%	558	13,95%
17	3914	97,85%	475	11,88%
18	3699	92,48%	479	11,98%
Taxa de ocupação média	95,46%		12,03%	

Tabela A.6: Atraso verificado na Experiência 2

Viagem nº	partidas de Leixões			partidas de Luanda		
	Atraso observado em:			Atraso observado em:		
	Minutos	Horas	Dias	Minutos	Horas	Dias
1	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
2	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
3	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
4	0	0,00	0,00	565	9,42	0,39
5	0	0,00	0,00	5240	87,33	3,64
6	1975	32,92	1,37	4595	76,58	3,19
7	1435	23,92	1,00	3275	54,58	2,27
8	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
9	0	0,00	0,00	4275	71,25	2,97
10	885	14,75	0,61	0	0,00	0,00
11	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
12	0	0,00	0,00	5025	83,75	3,49
13	2370	39,50	1,65	1575	26,25	1,09
14	0	0,00	0,00	845	14,08	0,59
15	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
16	0	0,00	0,00	3715	61,92	2,58
17	680	11,33	0,47	1680	28,00	1,17
18	0	0,00	0,00	1540	25,67	1,07
Atraso médio	408,06	6,80	0,28	1796,11	29,94	1,25

Tabela A.7: Taxa de ocupação do navio na Experiência 2

Viagem	partidas de Leixões		partidas de Luanda	
	Contentores transportados	Taxa de ocupação	Contentores transportados	Taxa de ocupação
1	3801	95,03%	460	11,50%
2	3841	96,03%	491	12,28%
3	3856	96,40%	467	11,68%
4	3817	95,43%	495	12,38%
5	3764	94,10%	523	13,08%
6	4000	100,00%	461	11,53%
7	3922	98,05%	487	12,18%
8	3602	90,05%	424	10,60%
9	3807	95,18%	507	12,68%
10	3954	98,85%	421	10,53%
11	3537	88,43%	482	12,05%
12	3868	96,70%	526	13,15%
13	4000	100,00%	446	11,15%
14	3654	91,35%	473	11,83%
15	3821	95,53%	492	12,30%
16	3871	96,78%	530	13,25%
17	3894	97,35%	471	11,78%
18	3719	92,98%	484	12,10%
Taxa de ocupação média	95,46%		12,00%	

Tabela A.8: Atraso verificado na Experiência 3

Viagem nº	partidas de Leixões			partidas de Luanda		
	Atraso observado em:			Atraso observado em:		
	Minutos	Horas	Dias	Minutos	Horas	Dias
1	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
2	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
3	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
4	0	0,00	0,00	1525	25,42	1,06
5	0	0,00	0,00	250	4,17	0,17
6	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
7	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
8	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
9	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
10	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
11	0	0,00	0,00	1185	19,75	0,82
12	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
13	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
14	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
15	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
16	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
17	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
18	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
19	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
20	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
21	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
22	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
23	0	0,00	0,00	765	12,75	0,53
24	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
25	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
26	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
27	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
28	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
29	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
30	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
31	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
32	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
33	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
34	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
35	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
36	0	0,00	0,00	1825	30,42	1,27
Atraso médio	0,00	0,00	0,00	154,17	2,57	0,11

Tabela A.9: Taxa de ocupação do navio na Experiência 3

Viagem	partidas de Leixões		partidas de Luanda	
	Contentores transportados	Taxa de ocupação	Contentores transportados	Taxa de ocupação
1	1909	95,45%	205	10,25%
2	1909	95,45%	255	12,75%
3	1932	96,60%	245	12,25%
4	1951	97,55%	264	13,20%
5	1904	95,20%	212	10,60%
6	1919	95,95%	235	11,75%
7	1897	94,85%	237	11,85%
8	1935	96,75%	243	12,15%
9	1829	91,45%	235	11,75%
10	1920	96,00%	245	12,25%
11	1881	94,05%	266	13,30%
12	1985	99,25%	223	11,15%
13	1920	96,00%	203	10,15%
14	1893	94,65%	261	13,05%
15	1919	95,95%	239	11,95%
16	1893	94,65%	236	11,80%
17	1913	95,65%	216	10,80%
18	1953	97,65%	233	11,65%
19	1831	91,55%	272	13,60%
20	1864	93,20%	207	10,35%
21	1841	92,05%	260	13,00%
22	1928	96,40%	222	11,10%
23	1940	97,00%	287	14,35%
24	1903	95,15%	188	9,40%
25	1891	94,55%	241	12,05%
26	1913	95,65%	227	11,35%
27	1943	97,15%	232	11,60%
28	1909	95,45%	249	12,45%
29	1911	95,55%	267	13,35%
30	1900	95,00%	247	12,35%
31	1971	98,55%	233	11,65%
32	1866	93,30%	247	12,35%
33	1892	94,60%	236	11,80%
34	1879	93,95%	250	12,50%
35	1972	98,60%	242	12,10%
36	1935	96,75%	302	15,10%
Taxa de ocupação média	95,49%		12,03%	

Tabela A.10: Atraso verificado na Experiência 4

Viagem nº	partidas de Leixões			partidas de Luanda		
	Atraso observado em:			Atraso observado em:		
	Minutos	Horas	Dias	Minutos	Horas	Dias
1	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
2	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
3	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
4	0	0,00	0,00	1460	24,33	1,01
5	190	3,17	0,13	3505	58,42	2,43
6	2615	43,58	1,82	8700	145,00	6,04
7	7575	126,25	5,26	0	0,00	0,00
8	1270	21,17	0,88	0	0,00	0,00
9	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
10	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
11	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
12	0	0,00	0,00	240	4,00	0,17
13	0	0,00	0,00	7370	122,83	5,12
14	6345	105,75	4,41	0	0,00	0,00
15	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
16	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
17	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
18	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
19	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
20	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
21	0	0,00	0,00	1840	30,67	1,28
22	710	11,83	0,49	0	0,00	0,00
23	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
24	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
25	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
26	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
27	0	0,00	0,00	905	15,08	0,63
28	0	0,00	0,00	255	4,25	0,18
29	0	0,00	0,00	3030	50,50	2,10
30	2300	38,33	1,60	0	0,00	0,00
31	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
32	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
33	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
34	0	0,00	0,00	7925	132,08	5,50
35	7095	118,25	4,93	0	0,00	0,00
36	840	14,00	0,58	0	0,00	0,00
Atraso médio	803,89	13,40	0,56	978,61	16,31	0,68

Tabela A.11: Taxa de ocupação do navio na Experiência 4

Viagem	partidas de Leixões		partidas de Luanda	
	Contentores transportados	Taxa de ocupação	Contentores transportados	Taxa de ocupação
1	1909	95,45%	205	10,25%
2	1909	95,45%	255	12,75%
3	1932	96,60%	245	12,25%
4	1951	97,55%	263	13,15%
5	1946	97,30%	251	12,55%
6	2000	100,00%	298	14,90%
7	2000	100,00%	138	6,90%
8	1892	94,60%	243	12,15%
9	1650	82,50%	235	11,75%
10	1920	96,00%	245	12,25%
11	1881	94,05%	243	12,15%
12	1985	99,25%	249	12,45%
13	1920	96,00%	272	13,60%
14	2000	100,00%	190	9,50%
15	1814	90,70%	239	11,95%
16	1893	94,65%	236	11,80%
17	1913	95,65%	216	10,80%
18	1953	97,65%	233	11,65%
19	1831	91,55%	272	13,60%
20	1864	93,20%	207	10,35%
21	1841	92,05%	299	14,95%
22	2000	100,00%	183	9,15%
23	1868	93,40%	266	13,30%
24	1903	95,15%	209	10,45%
25	1891	94,55%	241	12,05%
26	1913	95,65%	227	11,35%
27	1943	97,15%	254	12,70%
28	1909	95,45%	231	11,55%
29	1911	95,55%	316	15,80%
30	2000	100,00%	194	9,70%
31	1871	93,55%	233	11,65%
32	1866	93,30%	247	12,35%
33	1892	94,60%	236	11,80%
34	1879	93,95%	335	16,75%
35	2000	100,00%	157	7,85%
36	2000	100,00%	254	12,70%
Taxa de ocupação média	95,63%		11,97%	