SIMULAÇÃO DO IMPACTO NA MOBILIDADE URBANA E NA EMISSÃO DE POLUENTES COM O USO DE DIRIGÍVEIS NO TRANSPORTE DE CONTÊINERES PARA O PORTO DE ITAJAÍ

Luiz Eduardo Simão

Universidade Federal de Santa Catarina

Carlos Manuel Taboada Rodriguez

Universidade Federal de Santa Catarina

Luis Eduardo Correa de Sousa Vieira

Universidade Federal de Santa Catarina

Álvaro Dresch Zomkowski

Universidade Federal de Santa Catarina

Luccas Colicchio Gonzales

Universidade Federal de Santa Catarina

Resumo: A cidade de Itajaí apresenta problemas na sua mobilidade urbana por causa do intenso tráfego de caminhões que entram e saem do porto. Além disso, a emissão de poluentes, ocasionada por esse tráfego de caminhões movidos com motor a diesel, resulta expressiva. Tudo isso ocasiona transtornos e até afetações na saúde da população da cidade. Estes aspectos, mobilidade urbana e emissão de poluentes, estão sendo objeto de análise e pesquisas pela importância e atualidade dos mesmos. A procura por contribuir na solução destes problemas, motivou a realização deste trabalho que pretendeu por meio da simulação, definir os benefícios que poderia trazer para a comunidade a utilização do dirigível como modal de transporte alternativo ao rodoviário, substituindo caminhões. O cenário simulado baseou-se no estabelecimento de uma retro área fora da cidade. Desta forma, o trabalho centrou-se na interfase entre essa retro área e o porto, a qual poderia ser feita com caminhões ou com o dirigível. A comparação entre estes dois cenários, foi realizada com simulação discreta no software Arena, calculando indicadores de volume de contêineres transportados em ambas as direções, tempo do ciclo de transporte e os volumes emitidos de gases poluentes. Os resultados destas simulações mostram as vantagens de utilizar o dirigível como modal alternativo de transporte de contêineres nessa interfase, calculando-se a quantidade de caminhões que um dirigível poderia tirar de circulação da cidade durante um ano, e os impactos nos aspectos de mobilidade urbana e de emissão de gases poluentes que implica. Por último são estabelecidas as pesquisas posteriores que devem ser realizadas para complementar este estudo, que de por si resulta de caráter inédito, pois os estudos que até o momento tem sido feitos com o uso do dirigível tem sido para casos de cargas volumosas ou pesadas e em especial para operações em lugares remotos.

Palavras-chave: Dirigível. Container. Porto. Simulação.

* A revisão gramatical, ortográfica, ABNT ou APA foi realizada pelos autores.

1. INTRODUÇÃO

A globalização e os avanços tecnológicos que ocorreram nos meios de transporte geraram um solo fértil para o crescimento do comércio internacional. Durante os últimos anos, tais aspectos foram sistematicamente analisados em virtude da importância desses instrumentos no comércio internacional de mercadorias. Essa evolução e outros aspectos demandaram uma profunda expansão dos portos e trouxeram consigo novos desafios (MIGUEL & SOUZA, 2017).

Nesse contexto, o setor portuário se tornou ainda mais marcante para o desenvolvimento nacional, sendo que o transporte marítimo é o modal mais utilizado nas operações de comércio exterior no mundo (SOARES, 2009). No cenário brasileiro, destacam-se os portos catarinenses devido a sua relevância para o crescimento regional e nacional. Santa Catarina possui cinco estruturas portuárias, dentre elas o Porto de Itajaí, considerado o maior porto de cargas refrigeradas do país. Tal porto encontra-se ao norte de Santa Catarina à margem direita Rio Itajaí-Açú, a 3,2 Km da barra. É considerado um dos mais estruturados do país, dispondo de 1.035 metros de cais acostável, com 4 berços de atracação, uma bacia de evolução de 750 metros de extensão, com largura e profundidade de 400 metros e 11 metros, respectivamente, além de equipamentos que auxiliam na movimentação das cargas. Com o passar dos anos se tornou fundamental para a economia brasileira e do Estado, pois 70% do total de cargas tanto importadas quanto exportadas passaram pelo porto (MIGUEL & SOUZA, 2017).

O Complexo Portuário do Itajaí está estrategicamente localizado em um dos principais entroncamentos rodoviários do Sul do Brasil, distante poucos quilômetros das rodovias BR 101 e BR 470. A posição geográfica estratégica o coloca no centro da Região Sul, englobando, no raio de 600 quilômetros, as capitais de Santa Catarina, Rio Grande do Sul, Paraná e São Paulo, além de importantes municípios desses quatro Estados. Essa região congrega 46% do PIB nacional. Característica que transforma o Complexo em um centro concentrador e distribuidor de cargas, o que possibilita o atendimento dos mercados exportadores e importadores de 21 estados brasileiros e Distrito Federal (Porto de Itajaí, 2016).

O acesso ao Porto de Itajaí é tema de grande relevância e discussão no contexto da mobilidade urbana da cidade, devido ao impacto causado pelo grande fluxo de veículos de transporte de cargas. Estes veículos, advindos de diversas rodovias municipais, estaduais e federais, como a SC-470 e a BR-101, adentram a cidade em direção às zonas de carga e descarga do porto.

O elevado número de caminhões nas vias, aliado à um porto com estrutura localizada na região central da cidade, que permite a chegada por terra somente por via do modal rodoviário, além do acelerado crescimento da cidade e a falta de planejamento em infraestrutura urbana, podem ser elencados como os principais fatores de causa desse trânsito intenso, principalmente, em horários de pico.

Além da mobilidade urbana, outro fator que está relacionado com o grande fluxo de caminhões de e para o porto é a emissão de poluentes nocivos tanto para o meio ambiente (CO₂) quanto para a vida humana (NO_x) gerados pelo uso de caminhões movidos a óleo diesel.

Como a natureza da carga é predominantemente de contêineres, a questão de pesquisa a ser analisada nesse artigo é: “Qual o impacto da utilização de dirigíveis, de forma a reduzir os problemas de mobilidade urbana e emissão de poluentes relacionados ao tráfego intenso de caminhões para o porto de Itajaí?”

Para responder a esse problema de pesquisa, o artigo foi estruturado em cinco seções. Na primeira parte são apresentados uma introdução com o contexto e o problema de pesquisa. Na seção 2 é apresentada a revisão teórica sobre o tema. Na seção 3 a metodologia utilizada é descrita. Na seção 4 são apresentados os resultados e é feita a discussão e na seção 5 são apresentadas as conclusões do estudo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Porto de Itajaí e seus Reflexos na Mobilidade Urbana

A estrutura Portuária de Itajaí atua com uma rede completa de apoio logístico, instituída pelos terminais portuários e retroportuários, portos secos, empresas de apoio logístico e outras prestadoras de serviço que garantem excelentes condições operacionais. O mesmo desfruta de instalações com capacidade estática total para armazenagem de cargas congeladas para 160 mil toneladas com 170 mil posições paletes, capacidade total de armazenagem de contêineres cheios e vazios para 135 mil TEU's, ocupando área de 2,78 milhões de metros quadrados onde 7,8 mil tomadas para contêineres *reefer* e uma área total de 212,8 mil metros quadrados para armazenagem coberta divididos em 22 armazéns (PORTO DE ITAJAÍ, 2016). Dispõe de cais acostável de 1.035 metros, 4 berços de atracação, uma bacia de evolução de 750 metros de extensão, 400 metros de largura e profundidade de 11 metros. Além disso, o Porto de Itajaí conta com 2 portêineres no qual tem a capacidade de levantar até dois contêineres cheios de 20 pés ao mesmo tempo, 3 unidades de Mobile Harbor Crane (guindaste) com capacidade de até 100 toneladas (propriedade do TECONVI), 2 Reach Stacker pertencentes ao Porto e 15 dos operadores portuários, com capacidade para 40 toneladas e 2 Balanças rodoviária na qual possui a capacidade para 60 toneladas (PORTO DE ITAJAÍ, 2016).

O Porto recebe navios de até 306 metros com capacidade máxima para 8 mil TEU's (contêineres de 20 pés) sendo que o mesmo não suporta os mais modernos navios com até 335 metros de comprimento e capacidade para até 9.600 TEU's. Além de toda a infraestrutura e logística acessível o porto de Itajaí disponibiliza serviço através de websites onde é possível fazer programação de navios, acompanhar os quadros de horários, tarifas que são cobradas pelo serviço, faturas, câmeras públicas online 24 horas, qualquer pessoa pode acessá-las. Proporciona também aos seus usuários o abastecimento de óleo e água por meio de caminhões tanques (PORTO DE ITAJAÍ, 2016). O porto de Itajaí é constituído por instalações de apoio logístico e por uma completa infraestrutura para embarque e desembarques de cargas *dry* e *reefer*, sua localização estratégica e por dispor de uma mão de obra qualificada, o complexo portuário é hoje a principal opção para os exportadores e importadores que operam em Santa Catarina e um dos principais complexos do Brasil (PORTO DE ITAJAÍ, 2016).

A mobilidade urbana é um elemento facilitador para o desenvolvimento urbano e atributo fundamental para a qualidade de vida nas cidades. Promover adequada mobilidade para todas as classes sociais, para o desenvolvimento das atividades comerciais, industriais e recreativas, constitui processo essencial para o desenvolvimento econômico e social das cidades (FERRAZ e TORRES, 2004). Segundo Pontes (2010) o conceito de mobilidade está relacionado ao desejo de acessar o destino e a capacidade em se deslocar.

Deste modo, tratar sobre a mobilidade urbana é identificar como se organizam os fluxos na cidade, de modo a garantir o acesso das pessoas ao que a cidade

oferece. Assim, observa-se que a mobilidade busca atender a facilidade de deslocamento das pessoas e bens no espaço urbano, e a acessibilidade dos habitantes para suas atividades e deslocamentos nos diversos fins (VARGAS, 2008). Ao analisar as características da mobilidade urbana nas grandes cidades brasileiras, observa-se que está baseada no uso intenso do transporte motorizado individual acarretando uma série de externalidades negativas para as cidades, entre elas estão o tempo despendido em congestionamentos, problemas ambientais e aumento de acidentes de trânsito (IPEA, 2012).

O acesso ao porto de Itajaí é tema de grande relevância no contexto da mobilidade urbana da cidade, devido ao impacto causado pelo fluxo de veículos de transporte de cargas na área central da cidade. Estes veículos, advindos de diversas rodovias municipais, estaduais e federais, como a SC-470 e a BR-101, adentram a cidade em direção às zonas de carga e descarga do porto, gerando um trânsito intenso e prejudicando o tráfego nas vias urbanas.

2.2 Porto de Itajaí e seus Reflexos no Meio Ambiente

Atualmente, a sociedade tem se preocupado cada vez mais com os desequilíbrios ecológicos acarretados pelo crescimento desordenado em muitos setores. Segundo Leite (2017), muitas pesquisas de opinião públicas têm sido realizadas para comprovar essa crescente conscientização e os exemplos são inúmeros que evidenciam o aumento da importância ecológica na sociedade atual, porém ainda tendo uma ênfase maior nos países de maior desenvolvimento econômico e social.

De acordo com Pfitscher (2014), o modo de pensar em sustentabilidade do ponto de vista da empresa, implica em gerenciar com enfoque tanto nas questões relacionadas a estrutura da empresa e estratégia de competitividade quanto também olhar para a equidade social e o equilíbrio do meio ambiente, na qual as entidades estão inseridas. Assim, o grande fluxo de veículos de carga na cidade de Itajaí em decorrência do porto, pode acabar acarretando em um desequilíbrio no ponto de vista da cidade inserida nesse contexto, na qual a cidade teve um grande crescimento em torno do porto, porém esse crescimento não se deu também na infraestrutura para propiciar a equidade social e das empresas envolvidas.

Segundo Vasconcelos (2007) o aumento dos problemas de saúde decorrentes da poluição do tráfego urbano nas cidades tem o tido seu crescimento de forma exponencial nos países em desenvolvimento, consequentemente o consumo de diesel tem sido cada vez maior.

Bailey e Solomon (2004) afirmam que grande parte dos veículos e equipamentos de transporte e movimentação nos portos possuem motores movidos a diesel que liberam material particulado (PM), óxido de nitrogênio (NOx) e óxido de enxofre (SOx) afetando a qualidade do ar. Esses poluentes atmosféricos são classificados como contaminantes de ar comum, juntamente os hidrocarbonetos (HC), matéria de partículas diesel (DPM) e monóxido de carbono (CO), e influenciam a qualidade do ar de um local ou região. Os gases de efeito estufa (GEE) comprometem o clima mundial e são compostos por gases como dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) (OCDE, 2003). Os GEE são gases que dificultam a saída para a atmosfera, do calor absorvido pelo planeta terra. É justamente esse desequilíbrio de gases na atmosfera, que vem causando o acentuado aquecimento global que observamos nos últimos anos (MARCONDES, 2005).

Segundo a Agenda Ambiental Local do Porto de Itajaí (PORTO DE ITAJAÍ, 2012), a consequência do intenso tráfego de veículos de carga pode acarretar acidentes nas vias de circulação, geração de ruídos e a qualidade do ar. Assim, atualmente são realizados monitoramentos ambientais em todo o porto. Para o controle da poluição do ar, as principais emissões causadas pelo tráfego motorizado são de óxidos de nitrogênio e enxofre (NOx e SO₂), hidrocarbonetos (HC) e monóxido de carbono (CO), como também material particulado fuliginoso.

2.3. Uso de Dirigíveis no Transporte

O dirigível é uma aeronave que faz uso de um gás, mais leve que o ar, para se sustentar. Esse é composto de um balão, de uma estrutura, de motores e uma 'cesta' de onde o piloto comanda a aeronave. As forças que atuam em um dirigível parado no ar são a força gravitacional, devido ao seu próprio peso, e a de empuxo, devido ao gás de sustentação (BORELLA et al., 2017).

O primeiro dirigível foi construído por um engenheiro francês, Henri Giffard, em 1852. Esse tinha um diâmetro de, aproximadamente, 12 metros e um comprimento de, aproximadamente, 43 metros. Este dirigível completou, com sucesso, um voo de 27 quilômetros a uma velocidade de 8 quilômetros por hora (LIAO, 2009). Um bom tempo depois, antes da primeira grande guerra mundial, a Alemanha tomou a dianteira no desenvolvimento de dirigíveis. A companhia alemã Luftschiffbau Zeppelin foi a maior produtora de dirigíveis rígidos no início do século XX (LIAO, 2009).

Com o passar da guerra os investimentos em dirigíveis continuaram. Porém o foco não era mais militar e sim o transporte de passageiros. A estrutura rígida começou a dar lugar para a semirrígida, reduzindo o peso da aeronave e melhorando algumas outras características como a autonomia. Contudo, o que abalou a confiança e acarretou uma grande queda nos investimentos dessa alternativa de transporte foram os desastres ocasionados pelo gás de sustentação utilizado na época (hidrogênio), pois esse é altamente inflamável. Tais acontecimentos foram prejudiciais, porém não marcaram o fim da produção e de investimentos em dirigíveis por completo, uma vez que, atualmente, empresas estão desenvolvendo projetos de novos dirigíveis que utilizam o gás hélio (não inflamável) para acesso de áreas remotas ou transporte de carga.

O Quadro 1 apresenta um resumo indicando que em muitos países, inclusive o Brasil, estão retomando essa ideia.

Quadro 1 - Empresas que estão desenvolvendo dirigíveis

Local	Empresa	Estrutura	Forma	Estado	Capacidade
EUA	Lockheed-Martin	não rígida	catamarã	protótipo em escala	21 T
	Aeros	rígida	catamarã	protótipo em escala	66 T
	Ohio Airships	semi-rígida	charuto	protótipo em escala	TBD
Brasil	Airship do Brasil	semi-rígida	charuto	projeto de engenharia	30 T

Argentina	AeroVehicles Inc.	semi-rígida	catamarã	projeto do conceito	20 - 40 T
Reino Unido	HAV	não rígida	catamarã	protótipo em escala	10- 50 T
	Varialifter	rígida	charuto	projeto do conceito	50 - 250 T
Canadá	LTA Aerostructures	rígida	topo arredondado	projeto do conceito	10 - 70 T
	BASI	rígida	charuto	projeto do conceito	10 T
Rússia	RosAeroSystems	rígida	topo arredondado	projeto de engenharia	16 - 60 T

Fonte: Adaptado de Prentice; Knotts (2016)

Os dirigíveis não precisam de muito espaço para poderem pousar, sendo uma boa alternativa para países que precisam transportar medicamentos, comida, entre outros para áreas remotas. Além disso acabam sendo mais econômicos, mais rápidos que alguns modais e apresentando um menor impacto ambiental (PRENTICE; ASHCROFT; HOCHSTETLER, 2009; PRENTICE; KNOTTS, 2016).

Os dirigíveis são divididos em duas classes dirigíveis comuns (LTA - Lighter-Than-Air) e dos dirigíveis avançados, isto é, híbridos (HTA – Heavier-Than-Air). Os dirigíveis também podem ser divididos em três tipos diferentes dependentes da capacidade de sustentação, conforme figura 1.

Segundo Pereira (2011), o controle da elevação/sustentação dos dirigíveis sempre foi um desafio de projeto pois é preciso ter em consideração que as propriedades e o comportamento do gás de elevação são afetados pela densidade do ar circundante que varia com a altitude. Este sistema deverá ter a capacidade de compensar o dirigível em caso de turbulência durante o voo, perdas de peso do dirigível devido ao consumo de combustível ou a alteração da carga de transporte. O tipo de elevação dos projetos de dirigíveis híbridos (HAV- Hybrid Air Vehicles) concilia as características de elevação aerostática dos dirigíveis convencionais com as características de sustentação aerodinâmica das aeronaves tradicionais tornando os HAV em dirigíveis de última geração.

Figura 1 – Tipos de dirigíveis

Fonte: Pereira, 2011

Segundo Boyd (2001) os dirigíveis híbridos apresentam qualidades de performance únicas como a redução em cerca de 60% dos custos operacionais por cada tonelada de carga transportada quando comparado com o tradicional sistema aéreo, e elevada autonomia (aptidão para permanecer vários dias em voo sem necessidade de reabastecer). Esse autor coloca os híbridos numa posição intermédia face ao atual sistema de transporte por terem maior velocidade de cruzeiro que o transporte marítimo e por apresentarem desempenhos mais económicos do que o transporte aéreo tradicional. Em termos da capacidade operacional a grande diferença entre os dirigíveis convencionais e os HAV é a capacidade de transporte de carga: enquanto os convencionais podem suportar apenas 8% da sua carga aerodinamicamente os híbridos suportam 30%. É uma diferença considerável para projetos em que o fator carga é um requisito de grande importância.

Segundo Szirmai et al. (2002) existem projetos de dirigíveis com um possível alcance de mais de 10.000 km. Em relação à velocidade máxima de cruzeiro, atualmente os dirigíveis são capazes de realizar voo de cruzeiro numa gama de velocidades que se situa entre os 90 km/h e os 160 Km/h. Os procedimentos de carga/descarga e de aterragem representam as manobras de maior risco na operacionalidade dos dirigíveis. Na maioria dos casos, utilizam lastros de água para manter o equilíbrio vertical nas manobras de carga/descarga e requerem uma equipa de apoio em terra para certificar a ancoragem segura da aeronave. Esta deverá preparar a área para a chegada do dirigível e para alguns destes deverão também ser assegurados pontos de ancoragem no solo de forma a facilitar estes processos.

As características operativas que possibilitam o regresso dos dirigíveis como meio de transporte complementar ao sistema atual são inúmeras e dependem da especificidade dos projetos. Aumentando a diversidade de potenciais sectores para aplicação dos dirigíveis menor é o risco do investimento, pois sectores onde a aplicabilidade se venha a revelar pouco proveitosa podem ser compensados por sectores em que a sua utilização supere as expectativas iniciais do projeto. O emprego dos dirigíveis para fins comerciais, civis e militares, tendo em conta o panorama da rede de transporte atual, é revolucionário: mercadoria perecível pode ser transportada mesmo em longos percursos, o transporte de mercadorias pesadas pode partir da fonte e chegar ao destino sem passar por nenhum outro modo de transporte, isto é, proporcionando o transporte ponto a ponto, sem necessidade de recorrer a meios de transporte complementares. Aliás, Szirmai et al. (2002) apontam esta, como sendo a maior vantagem dos dirigíveis em termos de custos de operacionalidade.

Segundo Pereira (2011), uma das possibilidades do uso dos dirigíveis é no transporte de carga geral, carga pesada, indivisíveis e perecíveis. O transporte de carga é dependente do valor que a mercadoria tem no local de destino bem como o tipo de mercadoria. Por isso a escolha do sistema de transporte depende da relação entre diversos fatores como por exemplo, o tempo que demora o transporte, o valor a pagar pela carga, a qualidade de acomodação da carga e quando necessário a qualidade do controle de temperatura da mercadoria. No Quadro 2, pode-se observar a comparação do transporte de dirigível face aos tradicionais sistemas de transporte tendo em conta alguns dos principais requisitos para a opção do sistema de transporte de carga.

Quadro 2 - Análise Comparativa dos Principais Requisitos Operacionais dos Dirigíveis vs. Sistema de Transporte Tradicional

	Dirigível Vs.			
Requisito	Transporte Marítimo	Transporte Rodoviário	Transporte Ferroviário	Transporte Aéreo
Velocidade	Muito mais rápido	Mais rápido	Muito mais rápido	Muito mais lento
Capacidade de Carga	Capacidade inferior	Capacidade muito maior	Capacidade inferior	Capacidade muito maior
Capacidade de Adaptação da Carga	Muito mais flexível	Menos flexível	Muito mais flexível	Mais Flexível
Custo de Transporte	Mais caro	Mais caro	Muito mais Caro	Muito mais económico

Fonte: Prentice et al. (2005)

Upham; Anderson; Wood (2003), concluíram que o uso desse tipo de aeronaves para transporte de carga tem o potencial para reduzir significativamente o combustível consumido por tonelada-quilômetro. Além da redução associada em emissões reais, a menor altitude de cruzeiro dos dirigíveis confere benefícios substanciais às mudanças, como emissões de gases de efeito estufa reduzidas em mais de 80%.

A pesquisa na área está em crescimento, inclusive no Brasil. Borella et al (2017) fizeram um estudo com objetivo analisar a viabilidade técnica e econômica ao utilizar dirigíveis no transporte de cargas gerais no Brasil, mais especificamente no transporte de madeira na região Amazônica, em local de difícil acesso devido à falta de infraestrutura para acesso de transporte. Concluíram que a opção do dirigível não se justifica como uma alternativa economicamente viável, apesar de apresentar as características técnicas viáveis, um baixo lead time, e também possibilita uma redução no fluxo de cargas pesadas nas rodovias.

2.4 Simulação

De acordo com Kelton, Sadowski e Sadowski (2002), a simulação pode ser definida como um processo computacional de experimentação, no qual são elaborados modelos virtuais baseados em um sistema real ou uma simplificação de uma situação de natureza muito complexa. O objetivo principal da simulação é observar e testar, como diferentes alternativas irão se comportar durante a operação do sistema, sem precisar implementar de maneira real.

Seguindo a mesma linha, Harrell, Bowden e Ghosh (2000) citam que a simulação é a modelagem de um evento, de maneira que o modelo imite o processo real e permita a passagem de tempo. Desta maneira as observações e dados

coletados por meio da simulação podem ser extrapoladas para a situação real. As principais vantagens da simulação para Banks (1998) são de poder controlar a passagem do tempo, para observar fenômenos muito lentos, e a possibilidade de observar como o sistema real pode se comportar com modificações a um custo muito baixo, sem interferência no sistema real.

Uma das classificações de simulação e modelagem é a simulação de eventos discretos, segundo Miyagy (2006) esta é utilizada para observar sistemas em que as variáveis se alterem com a ocorrência de eventos instantâneos, isto é, considerando apenas eventos que alterem o sistema. Parola e Sciomachen (2004), citam que a simulação de eventos discretos está sendo usada cada vez mais, para a sincronização de processos e coordenação de chegadas e saídas de navios, trens e caminhões dentro de portos. A complexidade de alocação de recursos e regras, torna inviável o uso de processos analíticos, deixando os eventos discretos como principal alternativa. Os autores ainda acrescentam que a simulação é uma ferramenta muito importante para auxiliar processos estratégicos e decisórios com muitas variáveis, pois são na maioria dos casos, decisões que envolvem altos investimentos e desenvolvimento de infraestruturas com grandes impactos. Projetos desta magnitude não podem ser colocados em prática, sem uma avaliação detalhada e técnica da realidade, que a simulação pode fornecer.

Vários estudos usaram simulação de eventos discretos em portos com ARENA. Parola e Sciomachen (2004) analisaram o transporte terrestre para o porto com multimodalidade para avaliar as suas características e problemas com o aumento do fluxo de contêineres. Já Kia; Shayan e Ghotb (2002) analisaram papel da simulação computacional na avaliação do desempenho de um terminal de contêineres em relação às suas técnicas de manejo e seu impacto na capacidade de terminação. Kozan (2006) analisou a capacidade ótima para terminais de container intermodal. Cortes et al. (2007) usaram simulação para analisar o tráfico de fretes para o porto de Sevilha.

Apesar de existirem vários estudos usando simulação de eventos discretos para análise de portos, não foram identificados trabalhos desenvolvidos para comparação entre o modal de transporte rodoviário com dirigível para acesso e saída de mercadorias nos portos.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos metodológicos de pesquisa utilizados foram divididos em duas partes: (1) revisão bibliográfica; e (2) modelagem de simulação. Na primeira parte foram identificados 62 trabalhos acadêmicos que cobrem a área de gestão da logística, gestão portuária e gestão de cadeias de suprimentos. A revisão de literatura foi limitada a artigos acadêmicos revisados por pares e inclui artigos publicados no período de 2000 até 2018. Para selecionar artigos para a revisão da literatura, os autores incluíram os principais periódicos das disciplinas de pesquisa operacional, gestão de operações e logística, bem como as interdisciplinares, documentos de campos relacionados, como gerenciamento da logística e cadeia de suprimentos e gestão portuária. Foram pesquisados também os títulos e resumos dos artigos nas bases de dados do Google Scholar, Scopus e Web of Science, usando como as palavras-chave “port”, juntamente com “simulation”, “airship”, “transport” e “container”. Após a pesquisa nas bases de dados, usou-se como critério de seleção dos artigos o título, o resumo e as palavras chaves. Ao final, apenas 12 artigos revisados foram selecionados.

A simulação é definida pela Associação de Engenheiros Alemães (VDI, 2002) como "uma representação de um sistema com seus processos dinâmicos em um modelo experimental para chegar a conclusões que são transferíveis para a realidade." De acordo com Melo et al. (2009), projeto de cadeias de suprimentos desempenha um papel crítico na competitividade das empresas, não só porque é uma área relevante de investimento de capital, mas também porque é essencial para que as mesmas possam atender às demandas do mercado, fornecendo o nível adequado de serviço ao cliente, e, atualmente, analisar o impacto ambiental. Além disso, Kelton, Sadowski e Sadowski (2002) recomendam o uso de simulação computadorizada como uma maneira de fazer uma avaliação crítica das possibilidades de melhorar o desempenho de sistemas como as cadeias de suprimentos, uma vez que um modelo de simulação fornece um ambiente de laboratório adequado para testar os efeitos de diferentes fatores antes de sua aplicação prática. A Figura 2 mostra a metodologia de simulação utilizada neste trabalho.

Figura 2 – Abordagem metodológica com simulação

Fonte: Autores

Conforme indicado na figura 2, o primeiro passo da abordagem metodológica de simulação começa com a análise da estrutura do sistema e os dados necessários para desenvolver um modelo de simulação. Na segunda etapa, o sistema de transporte analisado foi modelado e validado. Nesse caso foram realizadas duas diferentes validações para garantir que os resultados do modelo são confiáveis. Uma primeira, incluiu a verificação da arquitetura modelo com outros pesquisadores e engenheiros. Na sequência, a simulação foi executada e os resultados gerados e comparados com os resultados do sistema atual pelos dados disponibilizado pelo porto. Na terceira etapa, a simulação foi executada e o resultados foram gerados. Na etapa final, os resultados foram avaliados com base em três medidas de desempenho: volume de contêineres, tempo de ciclo do transporte e a emissão de CO₂ CH₄ e NO₂ no processo de transporte.

Como a abordagem metodológica está baseada em simulação, foi utilizado o software de simulação ARENA. O ARENA é um software cujo design é baseado em simulação de eventos discretos e foi utilizado para medir e comparar o desempenho do sistema de transporte. O modelo de simulação serviu para avaliar o impacto sobre três atributos de desempenho chaves para qualquer cadeia de suprimentos – tempo, volume e impacto no meio ambiente. O primeiro atributo está relacionado ao tempo, através do ciclo médio de entrega do processo de transporte, que é medido pelo tempo decorrido entre a saída da retroárea até a entrega dos produtos no porto. A segunda medida de desempenho é o volume transportado por cada modal, o que está relacionado a quantidade transportada dentro de um período de tempo. A última

medida de desempenho está relacionada ao número de transportes realizados entre as instalações (retroárea e porto). Sendo esse último, foi usado para efetuar o cálculo das emissões de CO₂ (kg CO₂), CH₄ (kg CH₄) e NO₂ (kg NO₂) no processo de transporte através da metodologia DEFRA (2018). A emissão de CO₂, CH₄ e NO₂ pela queima de combustível fóssil, no caso óleo diesel para o caminhão e motor elétrico para o dirigível. Assim, enquanto os resultados das três primeiras medidas de desempenho (tempo, volume e número de viagens) são obtidos diretamente a partir do modelo de simulação no ARENA. Contudo, a emissão de CO₂, CH₄ e NO₂ foram calculadas a partir do número de viagens vezes a distância percorrida pelos veículos, sendo considerado 20 km entre as instalações para o dirigível e 30km para o caminhão.

O método DEFRA é um guia para mensurar e reportar emissão de gases do efeito estufa (GHG) para operações de transporte de cargas (AUVINEN et al., 2014). Este método utiliza a abordagem *bottom-up* para estimar as emissões de gases do efeito estufa da frota de caminhões, onde o cálculo de emissão de CO₂, CH₄ e NO₂ é realizado considerando dados da quilometragem anual por tipo de veículos e fatores de emissão de acordo com a eficiência no consumo de combustível de cada tipo de veículo (MCKINNON, 2010). Esse método foi escolhido pois é mais fácil de calcular as emissões, uma vez que as empresas de transporte possuem dados de quilometragem e consumo de combustível de caminhão e já existem dados específicos de fatores de emissão por tipo de veículo confiáveis para a frota brasileira (BARTHOLOMEU & CAIXETA-FILHO, 2009; GHG Protocol, 2010; IPCC, 2014). Os fatores de emissão de CO₂ utilizados para caminhões pesados acima de 44 toneladas utilizando biodiesel como combustível é de 0,86061 KgCO₂/km, o fator de emissão de 0,00020 KgCH₄/km e 0,01207 KgNO₂/km para o CH₄ e NO₂ (DEFRA, 2018). Já os dados do fator de emissão de CO₂, CH₄ e NO₂ médio para motores elétricos foram obtidos em DEFRA (2018) para vans elétricas acima 3,5 toneladas movidos a bateria, sendo os mesmos 0,06332 KgCO₂/km, 0,00015 KgCH₄/km e 0,00034 KgNO₂/km pois não existem fatores disponíveis para dirigíveis.

Com os dados levantados, a quarta etapa da metodologia foi aplicada a equação da figura 3, para calcular a quantidade de emissão de CO₂, CH₄ e NO₂, no sistema de transporte analisado, baseado nos dados do total de quilômetros para cada veículo.

Figura 3 – Fórmula para cálculo emissão CO₂, CH₄ e NO₂ no transporte

$$\text{Emissão GHG} = \text{Total de Km} \times \text{Fator de emissão}$$

Fonte: DEFRA, 2015

Portanto, usando a fórmula da figura 3, sabendo-se os fatores de emissão médio para o biodiesel, por caminhão de 44 toneladas e os fatores de emissão médio para o dirigível usando motor elétrico, o total de emissão de CO₂, CH₄ e NO₂ podem ser calculados.

4 CASO DE ESTUDO

Esse trabalho teve como objetivo analisar o impacto na mobilidade urbana e na emissão de poluentes, com o uso de dirigíveis no transporte de container desde e para o porto de Itajaí, usando simulação de eventos discretos. O caso buscou comparar um cenário para a realização desse transporte de uma retroárea para o porto e do

porto para retroárea em ciclo fechado, considerando uma distância de 30 km entre as instalações, usando o modal rodoviário e 20 km usando um dirigível. Essa diferença é explicada pelo fato dos caminhões terem que seguir o trajeto da rodovia, enquanto os dirigíveis podem ir em linha reta. Nesses cenários os caminhões transportariam os contêineres de exportação até a retroárea, e, a partir daí os caminhões ou dirigível são os modos de transporte até o porto.

Para simulação foi considerado a utilização de um caminhão 44 toneladas com capacidade de carga de 28 toneladas, usado para transportar um container de 40 pés em cada viagem. Para o dirigível, foi considerado um modelo de dirigível com capacidade para transportar 60 toneladas, com capacidade de transportar dois contêineres de 40 pés em cada viagem.

A figura 4 indica o sistema de transporte usado para análise através de modelagem com simulação.

Figura 4 – Cenários analisados na simulação

Fonte: Autores

Para os dois cenários descritos na figura 4, os dados de entrada usados no modelo de simulação estão resumidos no quadro 3.

Quadro 3 – Velocidade e tempo de trânsito dos veículos

Instalação	Caminhão	Dirigível
Velocidade média	40 km/h	80 km/h
Retroárea	Normal (45,5)	Normal (15, 10)
Porto	Normal (45, 5)	Normal (15, 10)

Fonte: Porto de Itajaí (2019) e Prentice et al. (2005)

Nos cálculos dos tempos de trânsito dos veículos (em minutos) foram considerados a velocidade média dos veículos no transporte de contêineres entre as instalações. Para o dirigível foi considerada uma velocidade média de 80 km/hora, voando em linha reta da retroárea ao porto por uma distância de 20 km. Já para o caminhão a velocidade média é de 40 km por hora, devido a rota não linear para esse tipo de veículo e as filas durante o trajeto, sendo considerado assim uma distância de 30 km entre a retroárea e o porto.

Além dos dados de velocidade e tempos de trânsito estimados para os veículos, os dados do número de container transportados foram coletados, conforme resumido na figura 5.

Figura 5 – Entrada e saída de container cheio no porto de Itajaí para exportação e importação

Fonte: Porto de Itajaí (2019)

Com base nos dados de entrada e saída indicados na figura 5, foi considerado como demanda média de 291 contêineres por dia para exportação (entrada no porto), e, 299 contêineres por dia para importação (saída do porto), ou seja, são em média 12 caminhões por hora entrando e saindo do porto (24 horas). Em resumo, a quantidade de caminhões circulando na área do porto, considerando entradas e saídas, atualmente é de aproximadamente 590 veículos por dia.

Além dos dados de quantidade container a serem transportados por dia, foram identificados também os tempos para carga e descarga dos veículos (caminhão e dirigível) em minutos, conforme o quadro 4.

Quadro 4 – Tempo de espera na entrada, carga e descarga veículos

Instalação	Caminhão	Dirigível
Espera na fila de entrada na Retroárea	Normal (10, 5)	-
Espera na fila de entrada no Porto	Normal (10, 5)	-
Carga/Descarga na Retroárea	Normal (20, 5)	Normal (40, 10)
Carga/Descarga no Porto	Normal (20, 5)	Normal (40, 10)

Fonte: Porto de Itajaí (2019) e Prentice et al. (2005)

Verifica-se para o quadro 4 que o tempo de espera na fila entrada existe apenas para o caminhão, uma vez que o mesmo deve passar pelo *gate* de acesso em ambas as instalações. Contudo, o tempo de carga e descarga do dirigível é maior que o do caminhão porque é necessário incluir o tempo para pouso, decolagem e ancoragem do mesmo.

Com base no sistema de transporte e nos dados, foi desenvolvido o modelo de simulação no Arena, conforme figura 6.

Figura 6 – Modelo de simulação do sistema de transporte com caminhão no Arena

Fonte: Autores

No modelo de simulação da figura 6, o caminhão sai da retroárea com container de exportação e entra no porto para descarregamento. Depois, o mesmo caminhão carrega um container de importação no porto e segue para a retroárea. Os módulos do modelo são explicados a seguir.

Saída da retroárea até o porto:

- Create 2: cria chegada de container exportação;
- Assign 4: uma variável de tempo é criada para marcar o início do processo na retroárea;
- Delay 3: o caminhão espera na fila para entrar na retroárea;
- Process 4: o container de exportação é carregado no caminhão na retroárea;
- Assign 2: uma variável de tempo é criada para marcar o início do transporte para o porto;
- Process 5: o container de exportação é transportado para o porto;
- Delay 4: o veículo aguarda ser liberado no gate do porto e segue para ser descarregado;
- Record 2: o tempo de trânsito da retroárea até o porto é gravado;
- Processo 6: o veículo é descarregado no porto;
- Dispose 2: o fluxo da retroárea até o porto acaba;

Saída do porto até a retroárea:

- Create 1: cria chegada de container importação;
- Assign 3: uma variável de tempo é criada para marcar o início do processo no porto;
- Delay 1: o caminhão espera na fila para entrar no porto;
- Process 1: o container de importação é carregado no caminhão no porto;
- Assign 3: uma variável de tempo é criada para marcar o início do transporte para a retroárea;

- Process 2: o container de importação é transportado para a retroárea;
- Delay 2: o veículo aguarda ser liberado no gate da retroárea e segue para ser descarregado;
- Record 1: o tempo de trânsito do porto até a retroárea é gravado;
- Processo 3: o veículo é descarregado na retroárea;
- Dispose 1: o fluxo do porto até a retroárea acaba;

A modelagem do dirigível seguiu a mesma estrutura, com exceção do Delay relativo a espera na fila para entrar no porto e na retroárea.

O modelo de simulação foi programado para rodar 364 dias por ano (8.736 horas), 24 horas por dia. Foram feitas 5 replicações para cada cenário analisado.

Em cada cenário foram considerados indicadores da capacidade em termos de volume de container transportado por período de tempo (entrada/saída) e o número de quilômetros no transporte dos contêineres, bem como o tempo de ciclo do transporte e a emissão CO₂, CH₄ e NO₂ no processo de transporte para cada tipo de veículo. Os resultados da simulação são apresentados e discutidos a seguir.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da simulação indicaram que um caminhão considerando os dados de tempo de espera na fila, tempo de carga e descarga e o tempo de trânsito indicados na seção anterior estão resumidos no quadro 5.

Conforme o quadro 5, no período analisado, um caminhão consegue transportar 1.435 contêineres no total (em ambas direções), pois transporta apenas 1 container 40 pés por vez (25 toneladas de carga por container). O caminhão percorreu um total 43.050 km. Com relação ao tempo de transporte médio foi de 56,85 minutos.

Quadro 5 – Resultados da simulação

Indicador	Caminhão		Total Caminhão	Dirigível		Total Dirigível
	R=>P	P=>R		R=>P	P=>R	
Nº Contêineres	704	731	1.435	1.420	1.472	2.892
Total de Km	21.120	21.930	43.050	14.200	14.720	28.920
Tempo de Transporte	56,56	57,15	56,86	18,20	17,64	17,92
Total Emissão CO ₂	37.049		37.049	1.831		1.831
Total Emissão CH ₄	8,6		8,6	4,3		4,3
Total Emissão NO ₂	519.6		519.6	9,8		9,8

Fonte: Autores

Com relação ao dirigível, o mesmo consegue transportar 2.892 contêineres no total (em ambas as direções), uma vez que esse veículo consegue transportar 2 contêineres de 40 pés por vez (25 toneladas de carga por container). Dessa forma o dirigível percorreu um total de 28.920 km no trajeto simulado. Com relação ao tempo de ciclo médio de transporte foi de 17,92 minutos.

Com relação a emissão de CO₂ pelo caminhão considerando os 43.050 km percorridos no período e multiplicando pelo fator de emissão para este tipo de veículo e combustível (0,86061 KgCO₂/km), registra-se um total de emissão de CO₂ de 37.049 KgCO₂. Apenas um caminhão a emissão de CH₄ foi de 8,6 kg e a emissão de NO₂ alcançou um total de 519,6 kg.

Já para o dirigível o total de emissão de CO₂ considerando os 28.920 km percorridos no período e multiplicando pelo fator de emissão para este tipo de veículo

e combustível ($0,06332 \text{ KgCO}_2/\text{km}$) temos um total de emissão de 1.831 Kg CO_2 . Já a emissão de CH_4 foi de $4,3 \text{ kg}$ e a emissão de NO_2 alcançou um total de $9,8 \text{ kg}$.

Com base nos resultados da simulação, constata-se que o dirigível transporta duas vezes mais contêineres que um caminhão, apesar de o mesmo não poder sozinho atender a demanda do porto em sua totalidade que é de aproximadamente 590 contêineres por dia. Entretanto, com o uso do dirigível seria possível reduzir em 2.886 caminhões (2,6%) do total de caminhões circulando por ano na cidade. Com relação ao tempo de ciclo médio o dirigível é 68,3% mais rápido devido à pequena distância considerada no modelo (20 Km) o que limita a sua velocidade à 80 km/h . Entretanto, a emissão de CO_2 pode ser reduzida em 95,0% com o uso desse tipo de veículo. Assim, se forem considerados os 2.892 caminhões que iriam deixar de circular na área portuária por ano, teria-se uma redução de 37.049 toneladas por ano de CO_2 . Com relação a emissão de NH_4 e NO_2 , as reduções com o uso do dirigível também são significativas, em torno de 50% para CH_4 e de 98,1% com relação ao NO_2 . Além disso, o uso do dirigível permite reduzir a frota de caminhões em circulação na área do porto, o que acarretaria uma diminuição dos congestionamentos e a consequente melhoria da mobilidade urbana.

Em resumo, a análise comparativa dos principais requisitos operacionais dos dirigíveis versus o sistema de transporte tradicional com caminhões, indicam que o dirigível é mais rápido (BORELLA et al., 2017), tem mais capacidade (PRENTICE et al., 2005), uma maior flexibilidade para tipos de carga (PEREIRA, 2011), e, um baixo impacto ambiental para os três gases do efeito estufa analisados (UPHAM; ANDERSON; WOOD, 2003).

Isso corrobora os resultados das pesquisas realizadas em outros países que já estão testando este tipo de veículo no transporte de cargas (PRENTICE; KNOTTS, 2016).

6 CONCLUSÕES

O presente artigo propôs uma simulação envolvendo o uso de dirigíveis no transporte de contêineres para o porto de Itajaí, levando em conta a mobilidade urbana da região e o impacto ambiental causado. Sendo Itajaí uma cidade portuária, o elevado fluxo de caminhões em vias que não suportam esse tráfego, causa desconforto para os moradores além de engarrafamentos. Buscando reduzir o número desses veículos e o impacto ambiental por eles causado, o presente artigo propõe o uso de dirigíveis como mais uma alternativa de transporte, uma vez que o mesmo não disputaria espaço na rodovia nem nas ruas da cidade com outros meios de transporte, contribuindo a reduzir os engarrafamentos e, portanto, filas. É importante destacar que a utilização de dirigíveis para este tipo de transporte é inédita na literatura observada, na qual dirigíveis foram usados para cobrir distâncias maiores ou chegar em lugares de difícil acesso.

Como pode ser observado, no resultado da simulação, o uso de dirigíveis não só melhoraria a questão da mobilidade, reduzindo o número de caminhões trafegando pela cidade, como também diminuiria o impacto ambiental causado pelo CO_2 e outros gases poluentes como NH_4 e NO_2 . O estudo mostra a não pertinência da substituição completa da frota de caminhões, por causa da quantidade de dirigíveis que seriam necessários para atender toda essa demanda anual. No entanto demonstra-se que o impacto da substituição parcial da frota de caminhões por dirigíveis, oferece significativas vantagens, tanto para o porto como para a cidade. Vale ressaltar que devido à falta de dados técnicos disponíveis com relação aos dirigíveis, foi preciso fazer

algumas simplificações e estimativas. Por este motivo, é necessário continuar os estudos com mais aprofundamento em relação a questões como custos de frete, tempos de operação com dados empíricos, questões relativas as regulações dos órgãos federais para este tipo de veículo operar nos terminais portuários, retro portuários e nas cidades com aeroportos próximos, bem como a infraestrutura necessária para esta operação.

REFERÊNCIAS

- ALBERTIN, C. C. 2011. Porto de Itajaí–SC. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.
- AUVINEN, H.; MÄKELÄ, K., LISCHKE, A.; BURMEISTER, A.; DE REE, D.; TON, J. 2011. COFRET D2.1 Existing methods and tools for calculation of carbon footprint of transport and logistics.
- BAILEY, D.; SOLOMON, G. 2004. Pollution prevention at ports: Clearing the air. *Environmental Impact Assessment Review*, v. 24, n. 7-8, p. 749–774.
- BANKS, J. (Ed.). 1998. *Handbook of simulation: principles, methodology, advances, applications, and practice*. John Wiley & Sons.
- BARTHOLOMEU, D.B.; CAIXETA-FILHO, J.V. 2009. Quantification of the environmental impacts of road conditions in Brazil. *Ecological Economics*, 68, p. 1778–1786.
- BORELLA, I. C. B.; SOUZA, E.D.; NILSON, M.; RODRIGUEZ, C.M.T. 2017. Análise de viabilidade técnica e econômica para utilização do dirigível no transporte de cargas gerais no Brasil. XXXVII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO - ENEGEP. Joinville, SC, Brasil, 10 a 13 de outubro de 2017
- BOYD, R.R. 2002. Performance of Hybrid Air Vehicles. Presented at 40th Aerospace Sciences Meeting & Exhibit, Reno, Nevada, 2002.
- BRASIL, Lei 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Portal do Planalto. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm. Acesso em: 07 ago. 2019.
- CORTES P, MUNUZURI J, IBANEZ JN, GUADIX J. 2007. Simulation of freight traffic in the Seville Inland Port. *Simul Model Pract Theory* 15(3):256–271
- DEFRA (The Department for Environment, Food and Rural Affairs). 2015. *Guidance on Measuring and Reporting Greenhouse Gas (GHG) Emissions from Freight Transport Operations*.
- DEFRA. (2018). *Conversion factors 2018*. Disponível em: <https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2018> acesso em: 10/08/2019.
- FERRAZ, A. C. P.; TORRES, I. G.E. 2004. *TRANSPORTE PÚBLICO URBANO*. 2. ed. São Carlos: Rima, 254 p. 300.
- GHG Protocol. 2010. *Especificações do Programa Brasileiro GHG Protocol: Contabilização, Quantificação e Publicação de Inventários Corporativos de Emissões de Gases de Efeito Estufa*. Disponível em: <https://s3-sa-east->

1.amazonaws.com/arquivos.gvces.com.br/arquivos_ghg/152/especificacoes_pb_ghg
protocol.pdf. Acesso em: 23 abril. 2019.

HARRELL, Charles; BOWDEN, Royce; GHOSH, Biman K. Simulation using promodel.
McGraw-Hill Higher Education, 2000.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. 2014. Climate Change
2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth
Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, [Core Writing
Team: R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)], IPCC, Geneva, Switzerland. <http://ar5-syr.ipcc.ch/>.

IPEA. A Nova Lei de Diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana. 2012.
Disponível em:
http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=12795
. Acesso em: 12/08/2019.

MARCONDES, Sandra. Brasil, amor à primeira vista!: viagem ambiental no Brasil do
século XVI ao XXI. Editora Peirópolis, 2005.

MIGUEL, Talita Acordi; SOUZA, Maria Helena. ESTUDO DA MOVIMENTAÇÃO
PORTUÁRIA DO PORTO DE ITAJAÍ NO PERÍODO DE 2005–2015. In: Anais do
Workshop de Administração. 2017.

KELTON, W.D.; SADOWSKI, R.P.; SADOWSKI, D. A. 2002. Simulation with Arena.
2.ed. McGraw-Hill.

KIA, M.; SHAYAN, E., AND GHOTB, F. 2002. Investigation of port capacity under a
new approach by computer simulation. Computers and Industrial Engineering, 42(2-
4), 533-540

KOZAN, E. 2006. Optimum capacity for intermodal container terminals. Transp Plan
Technol 29(6):471–482

LEITE, P. R. 2017. Logística Reversa: meio ambiente e competitividade. São Paulo:
Pearson.

LIAO, L.; PASTERNAK, I. 2009. A review of airship structural research and
development. Progress in Aerospace Sciences, v. 45, n. 4-5, p. 83-96.

MCKINNON, A.C. (2010), Product-level carbon auditing of supply chains:
environmental imperative or wasteful distraction?' International Journal of Physical
Distribution and Logistics Management, 40, 1-2, pp.42-60.

Melo, M.T., Nickel, S. and Saldanha-da-Gama, F. 2009. Facility location and supply
chain management – a review. European Journal of Operational Research, Vol. 196,
No. 2, pp.401-412.

MIYAGI, P. E. 2006. Introdução a simulação discreta. Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas
Mecânicos. São Paulo.

ONU, Nações Unidas, 1972. A ONU e o meio ambiente. Disponível em:
<https://nacoesunidas.org/acao/meio-ambiente/>. Acesso em: 07 ago. 2019.

PAROLA, F.; SCIOMACHEN, A. 2005. Intermodal container flows in a port system
network: Analysis of possible growths via simulation models. International journal of
production economics, v. 97, n. 1, p. 75-88.

- PEREIRA, L. B. N. 2011. Viabilidade Técnica e Económica da Utilização de Dirigíveis no Sector do Turismo em Portugal. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Aeronáutica, UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR - Covilhã, Portugal.
- PFITSCHER, E. D. 2014. Avaliação de Sustentabilidade: evolução de um sistema de gestão ambiental. Curitiba: Appris.
- PONTES, Taís Furtado. Avaliação da mobilidade urbana na área metropolitana de Brasília. Brasília, Distrito Federal, 2010.
- PORTO DE ITAJAÍ. 2012. Agenda Ambiental Local do Porto de Itajaí. Disponível em: www.portoitajai.com.br/novo/download.php?id=1125>. Acesso em: 11 ago. 2019.
- PRENTICE, B.; ASHCROFT, J.; HOCHSTETLER, R. 2009. Can Modern Transport Airships Change the World? 18th AIAA Lighter-Than-Air Systems Technology Conference.
- PRENTICE, B.E. 2016. Transport Airships for Northern Logistics: Technology for the 21st Century.
- PRENTICE, B.E.; KNOTTS, R. 2016. Sustainable Transportation: Airships Versus Jet Airplanes. Canadian Transportation Research Forum. Proceedings Issue: 51st , Annual Meeting 2016: 305-312.
- PRENTICE, B.E; PHILLIPS, A.; BEILLOCK, R.P.; THOMSON, J. 2005. The Rebirth of Airships. Journal of the Transportation Research Forum, Vol. 44, No. 1 (Spring 2005), pp. 173-190.
- SOARES, Carlos Roberto. Os Portos de Paranaguá (PR) e Itajaí (SC): análise comparativa das suas relações com as cidades de inserção, da estrutura operacional atual e das condições sócio-ambientais das regiões de entorno. 2009.
- SZIRMAI, A., BIEMOND, P., BOONEN, K.H.M., LUIJENDIJK, R.P.; HERTOOGH, J.P.C. 2002. Lighter- Than-Air-Craft. an Enabling Technology for Wind Power Market Development? Publications Siemens, Nederland.
- UPHAM, P.; ANDERSON, K.; WOOD, L. 2003. Assessing airships for freight transport Manchester Metropolitan University Centre for Aviation and the Environment.
- VARGAS, H. C. (2008). Mobilidade Urbana. In: Urbs, Temas Urbanos, v. XII, n. 47, jul/set, 2008.
- VASCONCELLOS, E. A. 2007. Transporte e meio ambiente. Annablume Editora.
- VDI – Verein Deutscher Ingenieure. 2010. Richtlinien 3633, Blatt 1 Entwurf: Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen. Grundlagen. Düsseldorf: VDI, pp.3-5.