

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA NAVAL

THÁLITA SABRINA PEREIRA

PHYSICAL INTERNET: CARACTERIZAÇÃO, OPORTUNIDADES E DESAFIOS PARA
A CADEIA LOGÍSTICA BRASILEIRA

Joinville

2021

THÁLITA SABRINA PEREIRA

PHYSICAL INTERNET: CARACTERIZAÇÃO, OPORTUNIDADES E DESAFIOS PARA
A CADEIA LOGÍSTICA BRASILEIRA

Trabalho apresentado como requisito para obtenção do título de bacharel no Curso de Graduação em Engenharia Naval do Centro Tecnológico de Joinville da Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientador(a): Dr(a). Eng. Vanina Macowski Durski Silva

Joinville

2021

THÁLITA SABRINA PEREIRA

PHYSICAL INTERNET: CARACTERIZAÇÃO, OPORTUNIDADES E DESAFIOS PARA
A CADEIA LOGÍSTICA BRASILEIRA

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de bacharel em Engenharia Naval, na Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Joinville (SC), 24 de setembro de 2021.

Banca Examinadora:

Dr.(a) Eng. Vanina Macowski Durski Silva
Orientador(a)/Presidente

Dr.(a) Eng. Elisete Santos da Silva Zaghene
1º Membro(a)
Universidade Federal de Santa Catarina

Dr.(a) Eng. Francielly Hedler Staudt
2º Membro(a)
Universidade Federal de Santa Catarina

*Dedico este trabalho a todas as mulheres que contribuem para
o desenvolvimento da ciência, e a minha mãe Rosemar.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por me guiar em caminhos bons, com sabedoria e paciência para encarar desafios e alcançar mais uma conquista. Em especial minha mãe Rosemar, meu exemplo de mulher para a vida, que nunca mediu esforços para que eu e minhas irmãs pudéssemos crescer em um lar de amor, união e respeito; nunca deixou de me apoiar em nenhum minuto dessa jornada e sempre me lembrou em suas ligações que “é muito importante dormir e se alimentar bem para aprender”. Agradeço a minhas irmãs Thaís e Thainá por sempre deixarem o meu coração quentinho de tanto amor que recebi, por risadas e abraços compartilhados.

Ao meu namorado Luan, durante esses anos foi meu porto seguro, me deu suporte, cuidou de mim e me ajuda todos os dias a levar a vida de forma mais leve, sempre sorrindo, sorte a minha ter alguém tão especial ao meu lado.

A minha orientadora professora Vanina, um agradecimento muito especial, por ser uma inspiração constante como profissional e como mulher, desde a primeira aula que acompanhei. É uma honra ser orientada por alguém visionária, que faz a diferença, motiva e vislumbra oportunidades para seus alunos. Soube me guiar nos momentos em que eu estava cansada demais para acreditar em mim.

Agradeço a assistência estudantil Prae, que me proporcionou cursar engenharia de forma igualitária, aos meus colegas de curso, aos professores, ao projeto DUNA e em especial, servidores da UFSC Joinville, ao Prof. Calil que com toda maestria e paciência me auxiliou, aconselhou nesse caminho, entre tantas lágrimas e sorrisos ele estava lá em sua sala pronto pra me receber, e em tantas vezes eu pensei que nada ia dar certo, ele sempre tinha um plano, que realmente deu certo!

Gostaria de agradecer a minha amiga Marina por ter acreditado no meu potencial e aberto portas para grandes oportunidades em minha vida, além de me apoiar na execução deste trabalho.

Agradeço imensamente a todos os entrevistados por compartilharem suas opiniões e contribuíram para desenvolvimento da ciência e logística no Brasil.

Há um verso que diz “É tão forte quanto o vento quando sopra. Tronco forte que não quebra, não entorta. Podes crer, puedes crer...Eu tô falando de amizade”, esse verso me lembra o quanto eu sou abençoada por ter muitos amigos, muitos galhos fortes que me sustentaram. Tenho em meu coração muito amor de quem torceu e torce por mim. Muito obrigada a Família

Zika, o primeiro grupo a me abraçar na UFSC onde eu pude conhecer muitas outras pessoas; a “Turma da salinha” (Ana, Filipe, Milena, Rafaela, Suzane, Thayse), amigos verdadeiros que me acompanharam nas maratonas de estudos e cervejas geladas. Essas pessoas que me farão aos 60 anos fechar os olhos, sorrir e lembrar como essas pessoas eram legais.

E gostaria de agradecer aos amigos que a UFSC transformou em uma segunda família: Bruna, Cibele, Eric; Gabriela, Giulia, Larissa B., Larissa V., Loany, Julia, Maria Eduarda, Matheus F., Matheus C., Pedro, Rafael, Samantha, Sergio, Vitória, Willian, Yumi, tanto momentos juntos que eu não tenho como contar um minuto dessa história sem que um de vocês estivessem ao meu lado.

“Amadores discutem táticas e estratégias; profissionais discutem logística.”

(NAPOLEÃO BONAPARTE, 1769-1821)

RESUMO

A proposta da *Physical Internet* (Internet Física) envolve o compartilhamento de recursos logísticos e a troca de informações em uma rede aberta e sua implementação é vista como uma contribuição promissora para uma logística sustentável. Este trabalho caracteriza a Internet Física, apresenta seus componentes físicos, e identifica oportunidades e dificuldades de implementação no cenário brasileiro. Para isso, realizou-se uma abordagem de pesquisa baseada em revisão bibliográfica e entrevista semiestruturada com 15 questões, respondidas por 16 representantes de empresas e operadores logísticos brasileiros, o que possibilitou mapear oportunidades e desafios da implementação de Internet Física no Brasil. Observou-se que o tema não é difundido no Brasil, sendo necessário fomentar o mesmo entre as empresas buscando abordagens colaborativas. As entrevistas abordaram a busca pela otimização do transporte de carga e necessidade de investimento em rastreabilidade dos produtos, verificando-se que poucas empresas exploram as possibilidades de negócios com colaborações. Os entrevistados demonstraram preocupação com sigilo de informações e privacidade sobre itens transportados, também apontaram a necessidade de desenvolver protocolos de segurança junto ao governo para realizar o compartilhamento de dados entre empresas e, ainda, vislumbraram o aumento da complexidade dos processos logísticos com a implantação da Internet Física. Do ponto de vista teórico, este trabalho ajuda a suprir a lacuna existente na pesquisa sobre o tema, bem como fornece visões incipientes de representantes de empresas e operadores logísticos brasileiros, quanto à implementação da Internet Física, auxiliando-os a identificar pontos relevantes quanto às oportunidades e desafios. Com base nas informações apresentadas os profissionais poderão se beneficiar do entendimento da Internet Física realizando parcerias em vários setores, e adaptar seus modelos de negócios e operações.

Palavras-chave: Internet Física. Cadeia de Suprimentos. Operadores Logísticos. Distribuição.

ABSTRACT

The proposal of the Physical Internet involves the sharing of logistic resources and exchange of information in an open network and its implementation is seen as a promising contribution to sustainable logistics. This work defines the Physical Internet, presents its physical components, and identifies opportunities and difficulties of implementation in the Brazilian scenario. For this, a research approach was carried out based on literature review and semi-structured interview with 15 questions, answered by 16 representatives of Brazilian companies and logistics operators, which made it possible to map opportunities and challenges for the implementation of Physical Internet in Brazil. It was observed that the theme is not widespread in Brazil, and it is necessary to promote the same among companies seeking collaborative approaches. As they addressed the search for the optimization of cargo transport and the need for investment in product traceability, it was verified that companies explore the possibilities of business with collaborations. Respondents showed concern with confidentiality of information and privacy of transported items, they also pointed out the need to develop security protocols with the government to share data between companies, and they also glimpsed the increased complexity of logistical processes with the implementation of Physical Internet. From a theoretical point of view, this work helps to fill the gap in research on the subject, as well as incipient views of representatives of Brazilian companies and logistics operators, regarding the implementation of the Physical Internet, helping them to identify relevant points regarding opportunities and challenges. Based on the information, professionals can benefit from an understanding of the Physical Internet by partnering in various sectors, and adapting their business models and operations.

Keywords: Physical Internet. Supply Chain. Logistics Operators. Distribution.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Representação do transporte de cargas proposto pela Internet Física	19
Figura 2- Fluxograma de apresentação.....	22
Figura 3- Comparativo da movimentação de carga proposto pela PI	27
Figura 4- <i>Web</i> Logística	28
Figura 5- Principais componentes físicos da Internet Física	31
Figura 6 - Dimensões dos π -contêineres	32
Figura 7- A π -empilhadeira motorizada	35
Figura 8- Os π -transportadores composta de π -células transportadoras flexíveis.....	36
Figura 9- Operação de transferência de π -carregadores para π -veículos	37
Figura 10 - Modelo de um π -hub.....	39
Figura 11- O π -contêiner composto.....	40
Figura 12- Empilhamento de um π -armazém	42
Figura 13- Atuantes da implementação da PI.....	45

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Familiaridade dos entrevistados com o termo Internet Física.....	51
Gráfico 2- Estudos de padronização de embalagens nas empresas	52
Gráfico 3- Desafios para digitalização nas empresas	56
Gráfico 4- Colaboração horizontal nas empresas	57
Gráfico 5- Compartilhamento de dados entre as empresas	58
Gráfico 6- Investimentos tecnológicos utilizados nas empresas	59
Gráfico 7- Desafios esperados pelos entrevistados com implantação da PI.....	61

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Problemas de insustentabilidade	17
Quadro 2- Revisão da abrangente da Literatura de PI.....	29
Quadro 3- Identificação dos entrevistados	50
Quadro 4- Oportunidades e desafios da implantação da PI no Brasil	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- As semelhanças entre a Internet Física e a Internet Digital	25
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- 3PL – Terceira parte Logística, a qual se refere à terceirização de processos logísticos (*Third Party Logistics*)
- ALICE – Aliança para Inovação Logística por meio da Colaboração na Europa (*Alliance for Logistics Innovation through Collaboration in Europe*)
- EAN – É um código de barras no padrão EAN definido pela GS1, uma associação que desenvolve e mantém padrões globais para comunicação empresarial (*European Article Number*).
- ETP – Plataforma Tecnológica Européia (*European Technology Platform*)
- GPS – Sistema de Posicionamento Global (*Global Positioning System*)
- GPRS – Serviço de Rádio de Pacote Geral e é o método de transferência de dados usado em redes móveis (*General Packet Radio Service*)
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- ID – Internet Digital (*Digital Internet*)
- PI – *Physical Internet* (Internet Física)
- RFID – Identificação por Radiofrequência (*Radio Frequency Identification*)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	16
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO	16
1.2. OBJETIVOS	19
1.2.1. Objetivo Geral.....	20
1.2.2. Objetivos Específicos	20
1.3. JUSTIFICATIVA DO TRABALHO.....	20
1.3.1. Econômica e Operacional	20
1.3.2. Acadêmico	21
1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO	22
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	24
2.1. CARACTERIZAÇÃO DE INTERNET FÍSICA	24
2.2. CONTRIBUIÇÕES DA INTERNET FÍSICA	30
2.3. COMPONENTES DA INTERNET FÍSICA.....	31
2.3.1. Os π-contêineres.....	32
2.3.2. Os π-movimentadores.....	34
2.3.3. Os π-nós	36
2.4. MARCOS DA IMPLANTAÇÃO DA INTERNET FÍSICA.....	43
3. METODOLOGIA.....	46
3.1. ENTREVISTA.....	47
4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS	49
4.1. FAMILIARIDADE COM O TEMA	51
4.2. PADRONIZAÇÃO DE EMBALAGENS	51
4.3. COMPARTILHAMENTO DE CARGAS.....	53
4.4. COMPARTILHAMENTO INFRAESTRUTURA.....	53
4.5. DIGITALIZAÇÃO	54
4.6. COLABORAÇÕES HORIZONTAIS	56
4.7. SEGURANÇA DE DADOS.....	57
4.8. EXPECTATIVAS FUTURAS	58
5. CONCLUSÃO.....	65
REFERÊNCIAS	67
APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO APLICADO DURANTE AS ENTREVISTAS	72

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Com o passar dos anos vem aumentando o desafio mundial de sustentabilidade logística global e práticas de armazenamento, transporte e manuseio de carga física atuais têm se tornado obsoletas com impactos negativos na economia, no meio ambiente e sociedade (TREIBLMAIER *et al.*, 2020). Para solucionar essa questão é necessária uma logística eficiente que ocorre quando as necessidades de armazenamento, transporte e manuseio de carga física utilizam o mínimo de recursos econômicos, ambientais, sociais e uma logística sustentável capaz de manter alto desempenho a longo prazo (MONTREUIL, *et al.*, 2013). Para uma logística sustentável e eficiente do ponto de vista econômico busca-se a redução de resíduos oriundos de processos logísticos, tornando a competitividade das empresas e dos países maiores. Do ponto de vista ambiental buscam-se impactos positivos, por meio da redução de emissão de gases de efeito estufa e a utilização de energia renovável, reduzindo diretamente a poluição. E do ponto de vista social, busca-se possibilitar a acessibilidade e mobilidade de forma fácil e barata, melhorando as condições de trabalho precarizadas, além de reduzir o congestionamento inflado pelo transporte de carga (MONTREUIL *et al.*, 2012).

Montreuil (2011) cita questões que devem ser resolvidas no âmbito logístico de modo a tornar o sistema mais eficiente e sustentável: caminhões, vagões e contêineres costumam realizar viagens não totalmente cheios. É possível evidenciar a ineficiência do transporte multimodal quando veículos e contêineres muitas vezes retornam vazios ou realizam rotas extras para encontrar remessas de retorno. Outro fato é que o transporte rodoviário domina os meios de transporte continentais e isso significa uma grande demanda por caminhoneiros, os quais estão quase sempre na estrada, frequentemente longe de casa por longos períodos, com condições precárias de trabalho.

Há ineficiência na distribuição de produtos, onde geralmente eles são armazenados em locais distantes do local de consumo, tornando-se frequentemente indisponíveis quando são necessários. Também é recorrente a má utilização das instalações de produção e armazenamento, má coordenação das redes de distribuição e operações de *cross docking*. O transporte intermodal não é rápido e confiável, há uma utilização limitada do espaço para transporte rodoviário, ferroviário, marítimo e aéreo. As redes de abastecimento não são seguras em termos de manutenção ou roubo, a automação e emprego de tecnologias são difíceis de justificar tornando as oportunidades de inovação vistas como limitadas (MONTREUIL, 2011).

O Quadro 1 relaciona 13 sintomas de insustentabilidade global com impactos econômicos, ambientais e sociais.

Quadro 1- Problemas de insustentabilidade

Problemas de insustentabilidade	Econômica	Ambiental	Social
1- Embalagens, vagões e contêineres costumam realizar viagens não totalmente cheios	✓	✓	
2-Rotas caminhões vazios	✓	✓	
3-Caminhoneiros em condições precárias	✓		✓
4-Produtos geralmente ficam armazenados onde desnecessário, mas muitas vezes indisponível onde necessário	✓		✓
5-Instalações de produção e armazenamento são mal utilizadas	✓	✓	
6-Muitos produtos nunca são vendidos, nunca usados	✓	✓	✓
7-Os produtos não alcançam quem precisa deles	✓		✓
8-Produtos são transportados desnecessariamente	✓	✓	
9-Transporte intermodal não é rápido e confiável	✓	✓	✓
10-Logística urbana precária	✓	✓	✓
11-As redes de abastecimento não são seguras e estruturadas	✓		✓
12-Automação e tecnologia não recebem incentivo	✓		✓
13-A inovação é limitada	✓	✓	✓

Fonte: Adaptado de Montreuil (2011).

Assim, neste contexto de solucionar a insustentabilidade global, emergiu o conceito de Internet Física (*Physical Internet - PI*) em 2006, pelo Professor Benoit Montreuil do Georgia Institute of Technology, Atlanta, Estados Unidos, é uma área de pesquisa e prática que procura responder a estas questões (TREIBLMAIER, *et. al*, 2020). Simbolicamente, a letra grega π é

usado na literatura para denominar Internet Física (PI) e para a apresentação dos elementos que a compõe, utiliza-se o prefixo π , como por exemplo: π -hub e π -contêineres (MONTREUIL; *et al.*, 2016).

Mervis (2014) relata que a PI constitui uma solução pioneira para as ineficiências dos modelos logísticos tradicionais, para SARRAJ *et al.*, (2014) representa um sistema logístico aberto, global, interligado e sustentável. Hakimi, Montreuil e Haijji (2015) afirmam que a Internet Física é um meio para alcançar sustentabilidade logística global pois seu objetivo é otimizá-la, movendo mercadorias por meio de um sistema global logístico de modo a criar cadeias de fornecimento mais eficientes, eficazes e sustentáveis, que podem levar à modelos e estratégias inovadoras. Este conceito está sendo desenvolvido dinamicamente e isso é confirmado pelo número de conferências e artigos científicos e a implementação de projetos-piloto, tem sido apoiada por empresas de consultoria, profissionais e pesquisadores (TREIBLMAIER, *et al.*, 2020).

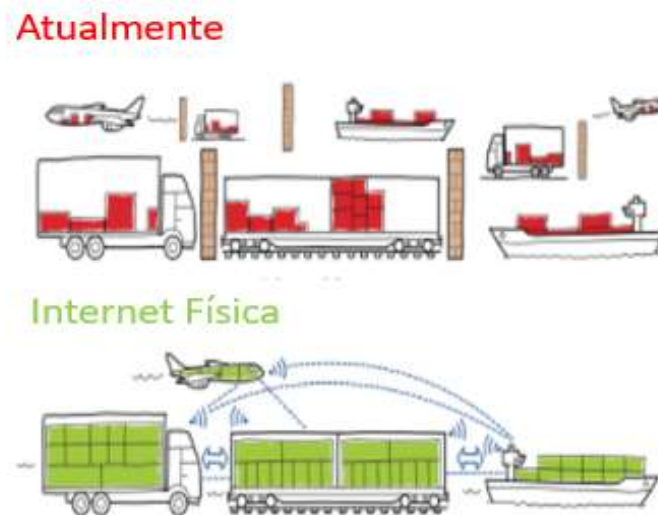
Para Ballot *et al.* (2016), PI é um sistema de logística global aberto baseado na interconectividade física, digital e operacional por meio de encapsulamento, interfaces e protocolos. É a aplicação dos princípios da internet à logística; é uma rede global, aberta e interconectada, usando um conjunto de protocolos colaborativos e interfaces inteligentes padronizadas, para enviar e receber bens físicos contidos em módulos padrão. Quando fala-se em rede aberta, faz parte a iniciativa colaborativa entre empresas, até mesmo concorrentes, que por exemplo, estariam melhor colaborando se estivessem despachando mercadorias pela mesma rota, utilizando recursos de forma eficiente.

Crainic e Montreuil (2016) comparam de forma análoga a proposta da PI de agrupar o transporte de bens físicos e dados semelhantes, ao transporte dos pacotes de dados que são movimentados na internet digital. Os autores também afirmam que o transporte de mercadorias será otimizado no que diz respeito ao custo, velocidade, eficiência e sustentabilidade. A Figura 1 representa a proposta da PI por meio da otimização do transporte de carga, com contêineres modulares, interconectados e rastreabilidade.

No Brasil, pode-se observar que os produtos físicos muitas vezes são transportados, manuseados, armazenados, produzidos, entregues e utilizados de forma não sustentável. Apesar de ser um país de dimensão continental, possui infraestrutura de transporte essencialmente rodoviária, com grande parte das rodovias mal distribuídas, mal-conservadas e em condições precárias. O Transporte ferroviário também não é significativo e, o transporte aquaviário tem potencial para a navegação, mas ambos os modais precisam de mais incentivos para o desenvolvimento de sua logística (DEFINA, 2018).

A autora supracitada considera que eficiência, qualidade e disponibilidade de infraestrutura de transporte e comunicação são elementos essenciais para a existência de uma logística moderna e que o Brasil está passando por mudanças nas práticas logísticas buscando oportunidades para aumentar a produtividade e melhorar a qualidade dos serviços.

Figura 1- Representação do transporte de cargas proposto pela Internet Física



Fonte: ALICE (2021).

O aumento da competição por outros modais de transporte e a pressão por serviços de melhor qualidade têm levado as empresas de transporte a um processo de modernização, o que implica na adoção de tecnologias de informação sofisticadas, como sistemas de roteamento, rastreamento por satélite e intercâmbio eletrônico de dados. Para essas empresas brasileiras, apesar das muitas mudanças, ainda há muito espaço para conquistar participação de mercado, melhorar sua produtividade e qualidade dos serviços (SILVESTRE, 2015).

Diante deste cenário, este trabalho de conclusão de curso pretende identificar se: existe a possibilidade de melhoria no funcionamento da tradicional cadeia logística no que tange o transporte de cargas com o uso da Internet Física?

1.2. OBJETIVOS

No intuito de buscar respostas ao questionamento apontado na seção anterior propõe-se neste trabalho os seguintes objetivos:

1.2.1. Objetivo Geral

Caracterizar o conceito de Internet Física bem como identificar oportunidades e desafios de implementação no cenário brasileiro.

1.2.2. Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral, os objetivos específicos propostos são:

- Realizar revisão bibliográfica a fim de caracterizar o conceito de Internet Física identificando seus principais componentes;
- Desenvolver um questionário a ser respondido por representantes de empresas e operadores logísticos brasileiros, na forma de entrevistas, a fim de investigar possíveis oportunidades e desafios da implementação de Internet Física nas cadeias logísticas onde estão inseridos;
- Investigar o grau de interesse dos respondentes em participar da Internet Física bem como oportunidades e desafios encontrados relacionadas às mudanças oriundas das redes logísticas abertas.

1.3. JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

1.3.1. Econômica e Operacional

O custo logístico que representa a soma dos gastos com transporte, estoque, armazenagem e serviços administrativos, consumiu mais de 12% do PIB (Produto Interno Bruto) do Brasil em 2020, o que equivale a R\$ 811 bilhões, segundo a Confederação Nacional dos Transportes (2021), impactando na competitividade da produção brasileira. No mesmo sentido de crescimento, as empresas estão cada vez mais automatizadas, e precisam acompanhar o aumento da demanda de abastecimento e transporte, sendo que as remessas de transporte se tornaram menores em volume e mais frequentes, devido a tendências como entregas no mesmo dia ou compras *just-in-time* (CHEN; *et al.*, 2016). Essas tendências resultam em diminuições progressivas da eficiência e da utilização do transporte, e dos recursos de armazenagem.

Simmer *et al.* (2017), afirmam que as empresas precisam de orientação sobre como alavancar e encontrar maneiras de ganhos de eficiência em logística e como reduzir os sintomas

de insustentabilidade, melhorar infraestrutura e a gestão insuficiente e não integrada e, a aplicação da Internet Física busca desenvolver esses pontos. Em contraste, há uma falta de compreensão sobre o tema Internet Física no Brasil, e não há registro de um panorama sobre a situação da mesma no Brasil, para que sejam identificadas as principais dificuldades de implementação sobreposto a realidade brasileira. Neste contexto, este trabalho tem importância econômica, pois possibilita que gestores logísticos e governamentais tenham conhecimento do atual panorama da Internet Física no Brasil e desta forma, possam realizar as mudanças e investimentos necessários para o desenvolvimento do setor.

Qiao *et al.* (2019) afirmam que o objetivo geral da Internet Física é melhorar a eficiência e eficácia de um sistema de transporte, porém Plasch *et al.* (2021), afirmam em seu estudo que a pesquisa sobre modelos de negócios e adoção da Internet Física não estão totalmente desenvolvidas, e que não há pesquisas de mercado que trate dos requisitos e necessidades das empresas em relação à participação na Internet Física. De forma a auxiliar gestores logísticos e governamentais a avaliar as possibilidades e estratégias a médio e longo prazo para implantação da Internet Física, este estudo propõe o levantamento de variáveis, panoramas da realidade da logística brasileira, e consequentemente a expectativa da eficiência da aplicação da Internet Física.

1.3.2. Acadêmico

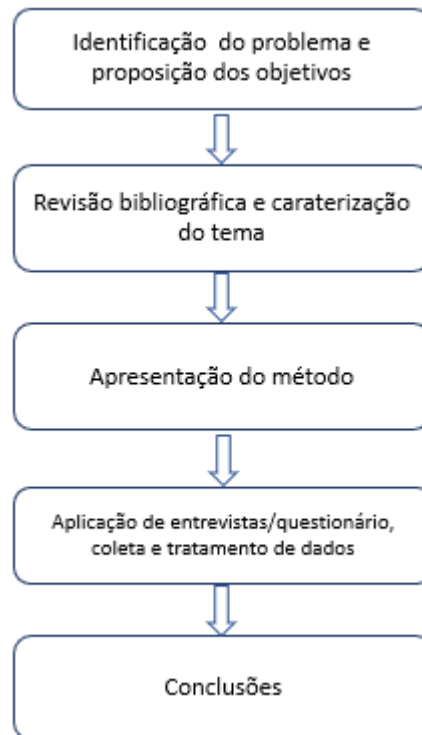
O termo Internet Física é recente, estabelece um novo parâmetro de operação e negócio para logística mundial e, neste contexto, é preciso a concepção de novas tecnologias, e modelos de negócio (PLASCH, 2021), sendo importante que seja fomentado no meio acadêmico estudos de contextualização, roteiros e necessidades para sua implementação. Essas tecnologias compreendem o desenvolvimento de contêineres modulares padrão, projeto de *layout* para unidades que integram a Internet Física, modelos de tomada de decisão para operar na Internet Física, veículos que transporte de contêineres modulares padrão, bem como equipamentos de manipulação das embalagens modulares padrão, entre outros.

Neste relevante cenário o curso de Engenharia Naval da UFSC, localizado no Centro Tecnológico de Joinville, SC, possui uma proposta de capacitação que vai além da projeção de embarcações, proporcionando a interação com a logística e estudo de transporte de cargas, sendo relevante o papel deste estudo no contexto tecnológico nacional, ampliando o conhecimento e possibilitando oportunidades científicas nesta área.

1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO

Almejando tornar possível o alcance dos objetivos propostos, este trabalho é apresentado em cinco capítulos, organizados conforme o fluxograma ilustrado na Figura 2.

Figura 2- Fluxograma de apresentação



Fonte: Autor (2021)

O primeiro capítulo é introdutório, contextualiza, justifica o tema e apresenta os objetivos deste trabalho de conclusão de curso. No capítulo dois, por meio de uma revisão bibliográfica é apresentada a caracterização da Internet Física bem como a evolução de seu conceito com o passar dos anos suas contribuições. Também neste capítulo são apresentados os principais componentes físicos e um roteiro proposto pela Comissão Europeia para implantação da Internet Física.

O método seguido para desenvolver este estudo é abordado no terceiro capítulo, definindo-se os passos e dados necessários para o aprofundamento do estudo, bem como a forma de obtenção de tais dados (estruturação de entrevistas/questionário), baseando-se na teoria apresentada no capítulo anterior.

No quarto capítulo são apresentadas as informações coletadas com durante a realização de entrevistas com representantes de empresas e operadores logísticos, o tratamento dos dados e os resultados obtidos. Por fim, as considerações finais sobre o presente trabalho e as sugestões para futuras pesquisas são apresentadas no capítulo cinco.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Em conformidade com os objetivos previstos para este capítulo inicialmente é caracterizado o conceito de Internet Física e em seguida, são apresentadas as contribuições que o tema oferece. Também são apresentados os principais componentes físicos previstos na PI, o roteiro de ações e agentes necessários para a implantação da Internet Física.

2.1. CARACTERIZAÇÃO DE INTERNET FÍSICA

Segundo a agência de notícias brasileira, a Agência Brasil (2021) o Brasil está entre os principais países em desenvolvimento, com maior potencial de crescimento do mundo e o país manteve-se na 27ª posição no *ranking* de comércio mundial, e em 2020, o país deteve 1% de participação na movimentação global de exportações e importações. Apesar disso, a Logística brasileira apresenta problemas de infraestrutura, manutenção, gestão, investimento, multimodalidade, sustentabilidade, e o freio do crescimento é a falta de investimento em formas alternativas de transportes de cargas (DEFINA, 2018).

O atual quadro da estrutura de transporte de carga do país apresenta muitas limitações para a expansão do crescimento econômico. O uso inadequado das modalidades acabou gerando uma grande dependência do modal rodoviário, devido aos baixos preços dos fretes e, apesar do imenso litoral e dos rios navegáveis, as rodovias têm papel de destaque. Segundo a Confederação Nacional de Transportes- CNT (2019), o transporte rodoviário responde por 61,8% da carga transportada, o ferroviário por 19,5%, o aquaviário por 13,8%, o dutoviário por 4,6% e o aéreo por 0,3%, observando-se que uma das grandes deficiências brasileiras é a falta de infraestrutura adequada para escoar produtos por todo o país.

Silvestre (2015), considera que com as características da logística brasileira é necessário investir:

1. No aumento do nível de serviço de transporte;
2. Na expansão da rede ferroviária, deteriorada durante o período de monopólio público;
3. No aumento a capacidade e eficiência dos terminais portuários;
4. Na acessibilidade aos Portos;
5. Na ampliação do sistema de armazenamento, inclusive para controle de estoque;
6. Na expansão das atividades hidroviárias e dutoviárias (para etanol, principalmente);
7. No balanceamento da matriz de transporte;
8. No equilíbrio na avaliação dos impactos ambientais resultantes de intervenções logísticas.

Diante deste cenário, muitas das situações existentes podem estar inseridas no contexto de uma nova rede de transporte chamada Internet Física. O termo Internet Física, ou do inglês *Physical Internet (PI)*, é oriunda da Internet Digital (ID), que se baseia em roteadores que transmitem pacotes padrão de dados. A PI é proposta como uma analogia a ID para gerenciar o fluxo de objetos físicos, com o objetivo de aumentar a eficiência e sustentabilidade dos sistemas logísticos (MONTREUIL, 2011). Segundo o *European Technology Platform (2021)* os pesquisadores esperam torná-la realidade até 2050, quando uma rede totalmente autônoma deverá estar instalada, a *Web Logística*.

Quando se envia um e-mail para alguém em todo o mundo, ele geralmente é recebido de forma rápida e transparente. Sua mensagem passa por uma rede de servidores até chegar ao seu destino, mas não se sabe qual rota sua mensagem usou. A PI deve funcionar de maneira semelhante e, neste caso, as empresas de transporte e logística podem acessar uma rede de rotas conectadas por *hubs*, envolvendo diferentes modos de transporte, o que lhes permite agilizar o transporte de mercadorias de um lugar para outro (ETP- *European Technology Platform*, 2021). A Tabela 1 apresenta as características da PI comparando-a com a ID.

Tabela 1- As semelhanças entre a Internet Física e a Internet Digital

As semelhanças entre a Internet Física e a Internet Digital		
	Internet Física	Internet Digital
Usuário	Remetentes privados e comerciais	Internet privada e comercial
Fluxo	Objetos físicos	Dados digitais
Unidade do fluxo	Pacotes padronizados, por exemplo, contêineres padrão.	Pacotes de dados
Roteamento do fluxo	Portos, instalações de <i>cross dock</i> , centros de distribuição, centros de transferência multimodais, etc.	Roteadores e switches
Portadora do fluxo	Modos de transporte, por exemplo, rodoviário, ferroviário, marítimo, aéreo, hidroviário interior, oleoduto	Meios físicos, por exemplo, fibra, ar (sem fio)
Protocolos	Processos de envio / recebimento padronizados	Modelo de protocolo de Internet

Prestadores de serviços	Operadores logísticos	Provedores de serviço de Internet
Colaboração entre usuários	Transporte compartilhado, serviços, armazenamento compartilhado, etc.	Rede ponto a ponto, intranets, etc.
Colaboração entre um usuário e um operador	Serviços 3PL (<i>Third-party Logistics</i>)	Linhas de acesso dedicadas
Propriedade da infraestrutura básica	Parcialmente propriedade do governo (rodovias, pontes, etc.)	Propriedade privada dos provedores de Serviço Internet, e propriedade do governo, por exemplo, operadoras de telefonia nacional, etc.

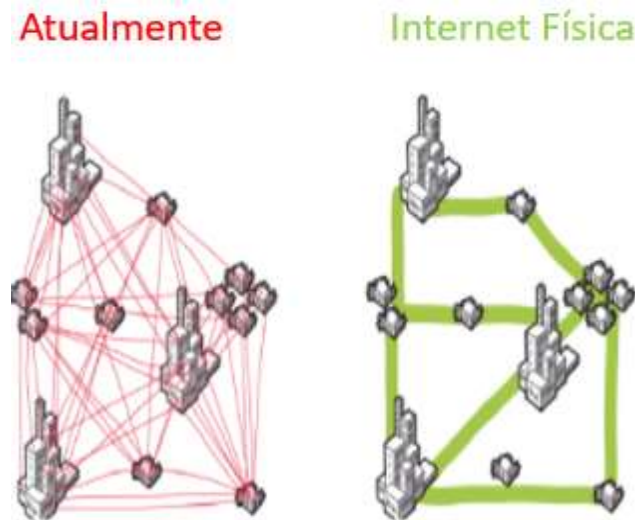
Fonte: Dong e Franklin (2021).

Os usuários da PI podem ser despachantes comerciais e privados, os quais inserem fluxos na PI na forma de vários objetos físicos, como mantimentos e bens de consumo, que são embalados em pacotes padronizados em estações de embalagem e, em seguida, transportados em uma rede de corredores físicos. Centros de distribuição direcionam os fluxos de pacotes na rede, modos de transporte, como rodoviário ou ferroviário, transportam os fluxos de pacotes e, terminais intermodais permitem que a carga alterne entre diferentes modos de transporte. Assim, os serviços PI são operados por vários provedores de serviços de logística, que garantem entregas de todos os tipos de objetos físicos (DONG E FRANKLIN, 2021).

Uma ação que permite a tecnologia tornar a PI uma realidade, é o encapsulamento de mercadorias em contêineres reutilizáveis e inteligentes (MONTREUIL *et al.*, 2016). Os mesmos autores propõem um encapsulamento de bens e produtos comercializados, sustentáveis, modular e em rede em contentores inteligentes, que podem ser encaminhados e distribuídos por meio de sistemas multimodais rápidos, confiáveis e ecológicos e em instalações logísticas (LIN *et al.*, 2014; MONTREUIL *et al.*, 2016) que se movem em meios de transporte comuns, por exemplo: aviões, caminhões, barças, drones e carros particulares. Nesta rede logística, os recipientes π (pi, proveniente de *Physical Internet*) variam em dimensões modulares de grande a pequeno. Os π -contêineres movem-se por meio de redes de transporte multimodais distribuídas, nas quais os locais de trânsito agregam mercadorias de diversas origens para otimizar o carregamento nos segmentos seguintes. As instalações logísticas são abertas tais como centros de transbordo abertos e armazéns abertos fazem parte de redes interligadas, permitindo que uma rede logística global seja ativada para PI (FERGANI *et al.*,

2019). A Figura 2 ilustra um comparativo com o excesso de movimentação existente na logística atual e a proposta de uma nova rede otimizada da Internet Física com sistema aberto.

Figura 3- Comparativo da movimentação de carga proposto pela PI



Fonte: European Technology Platform (2021)

A utilização de π -contêineres possibilita a qualquer operador logístico manusear e armazenar os produtos de qualquer empresa, pois não haverá movimentação e armazenamento de produtos precisamente e sim, o movimento será de contêineres modulares padronizados, assim como a Internet Digital que transmite pacotes de dados em vez de informações e arquivos (TREIBLMAIER *et al.* 2016).

Os contêineres modularizados facilitam a navegação por meio das redes de transporte de cargas individuais, em vez de cargas diversificadas de caixas e paletes de diferentes tamanhos. O roteamento eficiente de contêineres modulares em uma rede colaborativa só pode ser realizado se houver um conjunto padrão de roteamento e protocolos digitais, bem como convenções comerciais e legais que se aplicam a uma comunidade de usuários. As interfaces digitais são necessárias para garantir confiabilidade, segurança e transparência, bem como garantir que a qualidade do produto que está sendo manuseado não seja comprometida por seus movimentos (MONTREUIL *et al.*, 2012).

Os usuários da ID exploram a *World Wide Web* e seus aplicativos, assim como os usuários da PI devem explorar sua *Web Logística*. A *Web Logística* é definida como um conjunto global de agentes físicos, digitais, humanos, sociais e organizacionais, que pode ser

concebida como uma incorporação de cinco redes interligadas, a *Web* mobilidade, *Web* distribuição, *Web* realização, *Web* abastecimento e *Web* serviço, focadas em aumentar a eficiência e sustentabilidade de movimentação, armazenamento, realização, fornecimento e uso de objetos físicos (HAKIMI, 2014). Esta rede macro está representada na Figura 4.

Para Fergani *et al.*, (2019) a *Web* de mobilidade trata do manuseio de objetos físicos dentro de um conjunto global interconectado com o objetivo de criar centros unimodais e multimodais, trânsitos, portos, estradas e caminhos. E a *Web* de distribuição preocupa-se com um conjunto global de armazéns abertos, centros de distribuição e áreas de armazenamento, todos interligados entre si. Para os autores, a *Web* de realização visa a fabricação, montagem e customização de objetos, exigindo assim uma melhor adaptação ao conjunto global de plantas interligadas de todos os tipos. Por fim, eles descrevem que a *Web* de abastecimento trata do abastecimento por meio do conjunto global de provedores e fornecedores de serviços abertos, e a *Web* Serviço que trata da integração de sistemas e na comunicação entre aplicações diferentes e assim as redes exploram umas às outras para aumentar seu desempenho.

Figura 4- *Web* Logística



Fonte: Autor (2021).

As contribuições das pesquisas conceituais realizadas até o presente momento aplicam-se na definição e enriquecimento dos conceitos fundamentais da Internet Física, da *Web* Logística, aos principais componentes da PI e a contextualização de implementações de PI em indústrias e países. Estudos conceituais sobre a Internet Física foram apresentados em versões evolutivas do Manifesto da Internet Física (Montreuil, 2009; 2011; 2012). Posteriormente Montreuil *et al.*, (2013), Ballot *et al.*, (2014), Sarraj *et al.*, (2014) e Hakimi (2014) contribuíram para a elaboração dos conceitos e fundações globais da Internet Física. Marcotte, Montreuil e Coelho (2015) introduziram o conceito de produção móvel, explorando a Internet Física como uma rede, containerizada, distribuída, móvel, modular e conceitos de produção. Crainic e Montreuil (2016) apresentaram a iniciação da Internet Física no contexto logístico da cidade, propondo o conceito de logística da cidade conectada, enquanto Pan *et al.*, (2017),

conceitualizaram a Internet Física na logística e cadeias de abastecimento entre empresas e consumidores. O conceito de PI vem evoluindo com o passar dos anos, com pesquisas e novos questionamentos surgindo, indagando por quê as indústrias não estão dedicadas no tema e na busca de soluções logísticas. O Quadro 2 apresenta uma revisão abrangente da literatura de PI.

Quadro 2- Revisão da abrangente da Literatura de PI

Tema	Pesquisa aplicada, metodologias	Referências
Contextualização de PI	Relatório, revisão	Montreuil (2011); Montreuil <i>et al.</i> , (2012); Sarraj <i>et al.</i> , (2014); Treiblmaier <i>et al.</i> , (2016)
Revisão literária sobre IP	Revisão literária PI	Ambra <i>et al.</i> , (2019); Sternberg & Norrman (2017); Plasch, <i>et al.</i> , (2021)
Contêineres modulares padronizados - utilização de espaço / volume, custo de manuseio, contêineres inteligentes.	Modelagem de simulação, modelagem analítica	Hofman <i>et al.</i> , (2016); Salles <i>et al.</i> , (2015); Landschützer <i>et al.</i> , (2015); Lin <i>et al.</i> , (2014)
Estoque - níveis de estoque otimizados, serviços de armazenamento, custos de estoque reduzidos, utilização maximizada, etc.	Modelagem de simulação, modelagem analítica	Ji <i>et al.</i> , (2019); Yang <i>et al.</i> , (2017a); Yang <i>et al.</i> , (2017b); Darvish <i>et al.</i> , (2016B); Pan <i>et al.</i> , (2015)
Distribuição e transporte - otimização de rede, roteamento otimizado, padrões de carregamento, programação de caminhão, etc.	Modelagem de simulação, modelagem analítica	Chargui <i>et al.</i> , (2019); Ji <i>et al.</i> , (2019); Gontara <i>et al.</i> , (2018); Fazili <i>et al.</i> , (2017); Tran-Dang <i>et al.</i> , (2017); Darvish <i>et al.</i> , (2016); Venkatadri <i>et al.</i> , (2016); Walha <i>et al.</i> , (2016); Colin <i>et al.</i> , (2015)
Produção - manufatura inteligente	Estudo de caso, modelagem de simulação	Ji <i>et al.</i> , (2019); Zhong <i>et al.</i> , (2017); Zhong <i>et al.</i> , (2016)
Preços dinâmicos no PI	Modelagem analítica	Qiao <i>et al.</i> , (2019); Qiao <i>et al.</i> , (2018); Van Riessen <i>et al.</i> , (2017)
Sistema de logística de comércio em PI	Modelagem analítica, modelagem matemática	Kong <i>et al.</i> , (2016); Othmane <i>et al.</i> , (2014); Pan <i>et al.</i> , (2014)
Interconectividade Logística na cidade	Modelagem analítica, modelagem de simulação	Kubek e Więcek (2019); Zheng <i>et al.</i> , (2019); Ben Mohamed <i>et al.</i> , (2017); Chen <i>et al.</i> , (2017); Crainic e Montreuil (2016)
Plataforma de logística em nuvem	Modelagem analítica	Zhang <i>et al.</i> , (2016)

Sincromodalidade	Modelagem, revisão	Lemmens <i>et al.</i> (2019); Ambra <i>et al.</i> (2019); van Riessen <i>et al.</i> (2016)
Tecnologia <i>Blockchain</i> para PI	Modelagem de Simulação, Entrevistas	Betti <i>et al.</i> (2019); Meyer <i>et al.</i> (2019)
Colaboração horizontal em PI	Revisão de literatura, entrevistas	Simmer <i>et al.</i> (2017)

Fonte: Autor (2021)

O que se percebe é que as pesquisas publicadas até então se concentram na concepção, engenharia e teste de metodologias e tecnologias que permitem a implementação e exploração da Internet Física na indústria em todo o mundo (PAN *et al.*, 2021). Estas, são aplicáveis ao contexto logístico brasileiro, seja na necessidade de viabilizar o transporte de produtos, seja na padronização de contêineres modulares, na multimodalidade, ou na sustentabilidade.

2.2. CONTRIBUIÇÕES DA INTERNET FÍSICA

Conforme o conceito de PI foi sendo estruturado e suas aplicações avaliadas, o estudo de *design* de soluções foi sendo registrado na literatura. Pan *et al.* (2017), considera dois segmentos de estudos, o primeiro ligado ao projeto dos principais componentes físicos da PI e o segundo segmento em metodologias e modelos para abordar as principais decisões de planejamento e operações. O estudo sobre os principais componentes físicos, o *design* das instalações físicas e dos sistemas de manuseio, apresenta um modelo das instalações da PI, mas que para se tornar viável, deve conter operações eficientes e sustentáveis. Os estudos mais citados indicam que o uso de contêineres modulares padronizados resulta em maior utilização de espaço no nível de carga da unidade e fortalece o desenvolvimento de novos modelos de negócios com base na colaboração em rede multissetorial.

O segundo segmento de estudos se concentra em metodologias e modelos para abordar as principais decisões de planejamento e operações induzidas pela PI. Demonstram que prestadores de serviços podem reduzir despesas operacionais compartilhando de forma eficiente os recursos de transporte como estoque, consolidação de terminal, veículo e realizando troca de serviço logístico. Os estudos sobre serviços logísticos mostram que a colaboração e o uso de relações externas contribuem para aumento de investimento em novas tecnologias (PLASCH, *et al.*, 2021). O *crowdsourcing*, um processo de terceirizar tarefas, ideias e soluções para um grande grupo de pessoas, que contribuem coletivamente para atingir os objetivos de uma organização (CHEN *et al.*, 2016), a logística em nuvem, a sincromodalidade que é a

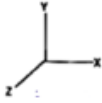
concepção de todos os modais em um só sistema integrado, ou gerenciamento correto da infraestrutura, dos serviços, dos transportes, de modo integrado e sincronizado (LEMMENS *et al.*, 2019), foram definidos e desenvolvidos por estudos existentes no ramo da PI.

Percebe-se que os modelos propostos nos estudos da PI podem ser usados para apoiar o planejamento e a implantação da transformação digital em sistemas de transporte e os resultados revelam que a PI pode evitar que os caminhões circulem vazios, o que tem um efeito positivo nas operações logísticas sustentáveis, porém ainda falta na área pesquisas que mostrem o qual a visão das empresas sobre essa nova tendência.

2.3. COMPONENTES DA INTERNET FÍSICA

A interoperabilidade se refere à capacidade de logística e abastecimento de redes independentes para conduzir operações e negócios mutuamente uns com os outros, a fim de usar a funcionalidade de outras redes, ou para executar operações para outras (MARINO, 2017). De um modo geral, a interoperabilidade deve ser considerada no nível físico (por exemplo, manuseio padronizado), nível organizacional (por exemplo, protocolos interorganizacionais) e nível de negócios (por exemplo, modelos de negócios com valor compartilhado), e nível digital (PAN *et al.*, 2019). Para discutir as possibilidades e desafios de interoperabilidade propostos pela PI é necessário conhecer seus três principais tipos de componentes físicos: os contêineres, os nós e os movimentadores, organizados conforme Figura 5.

Figura 5- Principais componentes físicos da Internet Física

π - Contêineres	π -Movimentadores	π -Nós
<ul style="list-style-type: none"> • Dimensões modulares  <ul style="list-style-type: none"> 0,12m 0,24m 0,36m 0,48m 0,60m 1,20m 2,40m 3,60m 4,80m 6,00m 12,00m 	<ul style="list-style-type: none"> π- transportadores π-veículo <ul style="list-style-type: none"> • π-barco • π-locomotiva • π-aviões • π-robô • π-caminhão π-carregadores <ul style="list-style-type: none"> • π-trailer • π- rebocador • π-vagão π-transportadora π -manipulador 	<ul style="list-style-type: none"> π-locais π-instalações π-sistemas <ul style="list-style-type: none"> • π-trânsito • π-interruptor • π-ponte • π-selecionadora • π-preparador • π-armazém • π-caminho π-hub π-distribuidor

Fonte: Montreuil (2014).

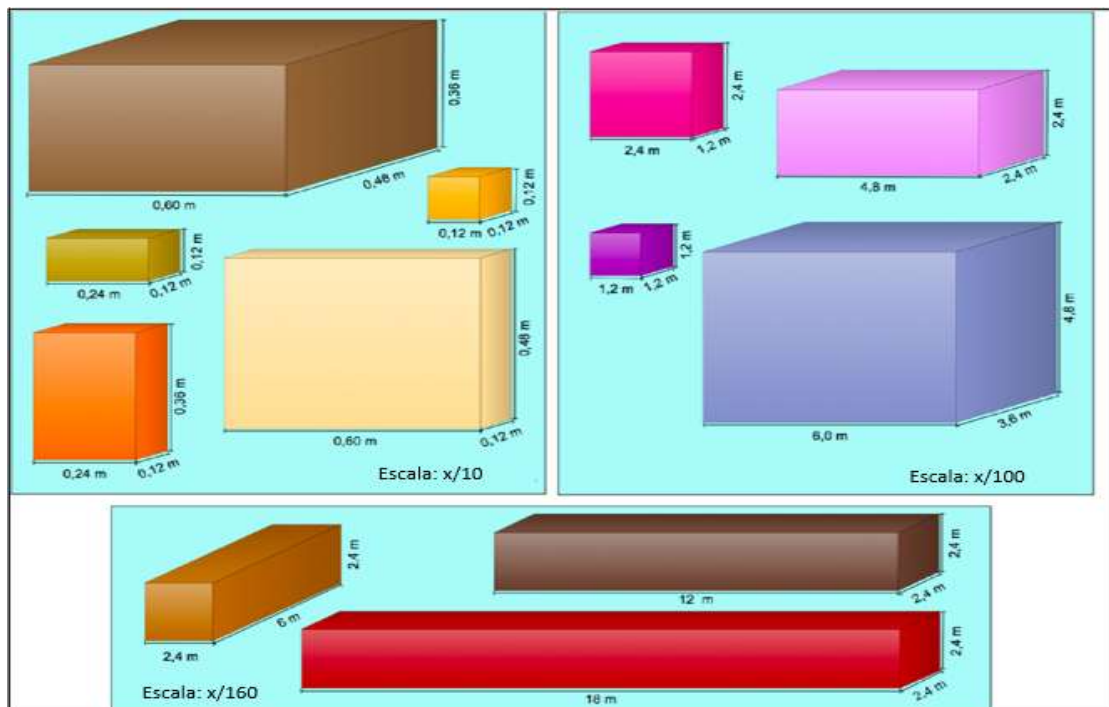
Os contêineres representam as cargas unitárias fundamentais que são movidas, manuseadas e armazenadas na PI, enquanto os nós correspondem aos locais, instalações e sistemas físicos. Já os movimentadores transportam ou manipulam contêineres dentro e entre os nós (MONTREUIL *et al.*, 2014).

Cada elemento físico é descrito nas próximas seções. No entanto, deve ficar claro que os elementos apresentados não existem atualmente, assim as características declaradas dos elementos devem ser percebidas como *design* funcional original, contendo especificações de engenharia.

2.3.1. Os π -contêineres

Os π -contêineres representam as cargas unitárias que são manipuladas, armazenadas e encaminhadas por meio dos sistemas e infraestruturas da PI. Devem ser módulos logísticos fáceis de manusear, armazenar, transportar, lacrar, encaixar em uma estrutura, interligar, carregar, descarregar, construir e desmontar, sendo padronizados mundialmente e definidos de acordo com normas abertas, conforme Figura 6.

Figura 6 - Dimensões dos π -contêineres



Fonte: Montreuil *et al.* (2014).

Devem ser projetados para facilitar seu manuseio e armazenamento nos nós físicos, bem como seu transporte entre esses nós e para proteger as mercadorias. Eles atuam como pacotes na internet digital, no entanto, ao contrário dos pacotes de Internet Digital, os π - contêineres possuem um conteúdo físico e uma estrutura ao invés de serem puramente informacionais (LIN *et al.*, 2014). Podem conter bens físicos individuais, bem como π -contêineres de tamanhos menores, ou ainda objetos privados menores não projetados para a PI, o conteúdo da cápsula passa a ser irrelevante, conforme destacado na Figura 6, os π -contêineres são concebidos para serem utilizados em uma variedade de tamanhos modulares. Para fins ilustrativos, a modularidade dimensional de π -contêineres pode ser expressa em altura, largura e profundidade por meio de combinações (LANDSCHÜTZER *et al.*, 2015).

A modularidade e as capacidades de intertravamento dos π -contêineres se combinam para permitir a fácil composição de π -contêineres compostos a partir de conjuntos de π -contêineres menores. Os π -contêineres compostos podem ser facilmente decompostos de modo a permitir o tratamento individualizado de seus π -contêineres constituintes. Os π -contêineres devem ser o mais ecologicamente corretos possível, de acordo com os princípios de sustentabilidade. Eles devem vir em uma variedade de graus estruturais, adaptados ao peso e às características das cargas que devem conter, sendo o mais leve possível. Eles também podem ter recursos de condicionamento, como controle de temperatura, umidade e vibração (MONTREUIL *et al.*, 2014).

De uma perspectiva informativa, cada π -contêiner possui um identificador mundial exclusivo, o qual é anexado a cada π -contêiner tanto física quanto digitalmente para garantir a eficiência da identificação. Uma etiqueta inteligente (*tag*) é anexada a cada π -contêiner para atuar como seu agente representante. Esta contribui para garantir a identificação, integridade, roteamento, condicionamento, monitoramento, rastreabilidade e segurança do π -contêiner por meio da PI. Essa identificação inteligente permite a automação distribuída de uma ampla variedade de operações de manuseio, armazenamento e roteamento (SARRAJ *et al.*, 2014). Tecnicamente, as tecnologias RFID e/ou GPS são percebidas como adequadas para equipar as etiquetas do π -contêiner. Ainda assim, como todos os outros elementos da Internet Física, esta irá evoluir com inovações tecnológicas (LANDSCHÜTZER *et al.*, 2015). Exemplos de informações que devem constar na *tag* inteligente de um π -contêiner incluem:

- Identificador único do π -contêiner por meio da Internet Física;
- Identificador do cliente usando o π -contêiner;
- Identificador logístico do responsável pelo π -contêiner;
- Dimensões do π -contêiner (volume e peso);

- Capacidade estrutural de carregamento interno e de empilhamento;
- Funcionalidades (para manuseio, armazenamento, etc.);
- Requisitos de condicionamento;
- Identificador do contrato associado ao π -contêiner;
- Status do π -contêiner (sinais e identificadores de falha/integridade/vedação);
- Especificações de tratamento para o π -contêiner (transporte da origem ao destino dentro de algum intervalo de tempo, etc.);
- Informações confidenciais (ou não) detalhadas sobre o conteúdo, notadamente identificando π -contêineres menores contidos;
- Geo-posicionamento por GPS ou GPRS (método de transferência de dados usado em redes móveis).

A fim de lidar de forma adequada com questões de privacidade e competitividade dentro da rede proposta pela PI, a *tag* inteligente de um π -contêiner restringe estritamente o acesso às informações pelas partes pertinentes e o conteúdo informativo das *tags* é protegido por uma chave de criptografia para fins de segurança. Consequentemente, apenas as informações necessárias para o roteamento de π -contêineres são acessíveis sem esta chave (MONTREUIL *et al.*, 2014).

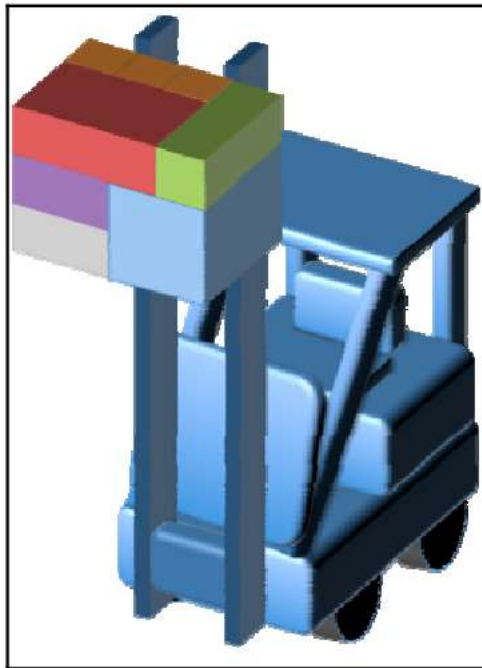
2.3.2. Os π -movimentadores

Na PI, os π -contêineres são genericamente movidos por π -movimentadores, responsáveis por transportar, manusear, levantar e manipular. Os principais tipos de π -movimentadores incluem π -transportadoras, π -transportadores e π -manipuladores. Os π -manipuladores são humanos qualificados para mover π -contêineres. O conjunto de π -transportadores conceitualmente inclui π -veículos e π -carregadores. Estes são, respectivamente, veículos e transportadores projetados especificamente para permitir a movimentação fácil, segura e eficiente de π -contêineres. Eles são diferenciados pelo fato de que os π -veículos são *self-propelled* (possuem motores), enquanto os π -carregadores devem ser empurrados ou puxados por π -veículos ou por π -manipuladores. O conjunto de π -veículos inclui π -caminhões, π -locomotivas, π -navios, π -aviões, π -elevadores e π -robôs. Da mesma forma, o conjunto de π -carregadores inclui π -reboques, π -carrinhos, π -barcaças e π -vagões (TREIBLMAIER *et al.*, 2016).

A empilhadeira realiza movimentação de mercadorias empilhadas em paletes comumente utilizados nas operações logísticas. Já na Internet Física, o palete perde seu propósito pois as π -

empilhadeiras apenas movem e armazenam π -contêineres que são projetados para manuseio, empilháveis, intertraváveis e assim por diante. Assim, tais π -contêineres possuem os meios para se prenderem a um π -movedor sem precisar ser colocados em uma plataforma, não havendo necessidade de garfos como atualmente são empregados para suportar os paletes. Como ilustração, a Figura 7 representa conceitualmente uma π -empilhadeira levantando um π -contêiner composto sem depender de um palete e garfos (MONTREUIL *et al.*, 2014).

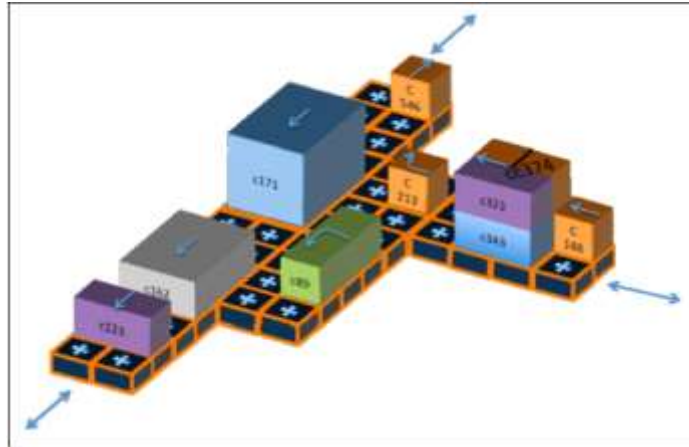
Figura 7- A π -empilhadeira motorizada



Fonte: Montreuil *et al.*, (2014).

Complementares aos π -veículos, os π -transportadores são transportadores especializados no fluxo contínuo de π -contêineres ao longo de determinados caminhos sem necessidade de utilizar π -veículos e π -carregadores. A Figura 8 exibe um conjunto de π -transportadores que exploram o conceito de transportador flexível. As células de transporte quadradas permitem mover os π -contêineres nas quatro direções cardiais. Cada célula é dimensionada para o tamanho do menor π -contêiner a ser transportado e então, quando apenas os menores π -contêineres quadrados são manipulados, cada célula pode transportar autonomamente um π -contêiner para uma de suas células vizinhas.

Figura 8- Os π -transportadores composta de π -células transportadoras flexíveis



Fonte: Montreuil *et al.*, (2014).

No exemplo da Figura 8, π -contêineres de uma variedade de dimensões modulares são transportados simultaneamente, isso requer a coordenação de π -células adjacentes para que atuem conjuntamente no transporte de um grande π -contêiner. O padrão de tráfego nas π -células pode ser alterado de tempos em tempos de acordo com as necessidades do fluxo de trabalho, para isso sendo necessário algoritmos para controlar uma grade de π -transportadores (TREIBLMAIER *et al.*, 2016).

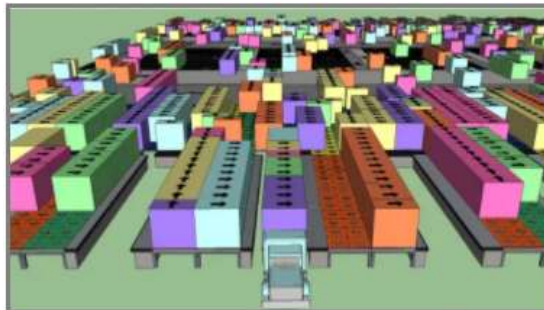
2.3.3. Os π -nós

Os π -nós são locais que interligam as atividades logísticas, ou seja, onde é possível realizar a mudança de um modo de transporte para outro. A cada π -nó está associado pelo menos um evento para cada π -contêiner, para garantir a rastreabilidade de sua passagem pelo π -nó. São locais expressamente projetados para executar operações em π -contêineres, tais como recebimento, teste, movimentação, roteamento, classificação, manuseio, colocação, armazenamento, separação, monitoramento, rotulagem, painéis, montagem, desmontagem, dobragem, encaixe, desenroscar, compor, decompor e despachar π -contêineres (MONTREUIL *et al.*, 2014). Os π -nós são classificados por uma série de atributos, como velocidade, aderência do nível de serviço, dimensões tratadas de π -contêineres, capacidade geral e interface modal. Os π -nós tratam os π -contêineres individualmente, cada um com seu próprio contrato (MONTREUIL *et al.*, 2014). Abrangem conceitualmente os π -locais, as π -instalações e os π -sistemas que são, respectivamente, locais, instalações e sistemas projetados para atuar como

nós físicos da Internet Física. Normalmente, os π -locais incluem π -instalações e π -sistemas externos, enquanto as π -instalações contêm π -sistemas internos (MONTREUIL *et al.*, 2010).

Os π -trânsitos são π -nós com a função de permitir e realizar a transferência de π -carregadores para π -veículos de entrada para π -veículos de saída. Eles distribuem o transporte de π -carregadores por uma série de π -veículos, cada um responsável por um segmento de uma rota. Os π -trânsitos visam garantir a execução eficiente, fácil, segura e protegida das atividades de distribuição entre π -veículos e π -carregadores e, geralmente são π -locais ou π -instalações que exigem baixo investimento em π -sistemas. No transporte rodoviário, um π -trânsito pode ser um π -local localizado próximo à interseção de duas rodovias, onde π -veículos (π -caminhões) carregando π -carregadores (π -reboques) registram sua chegada, desengancham em um local designado, então saem com outros π -carregadores (π -reboques) atribuídos estacionados em um local dentro do π -trânsito. Normalmente os π -trânsitos são unimodais, mas pode haver π -trânsitos multimodais, por exemplo, π -carregadores (π -reboques) podem transitar de π -veículos (π -caminhões, π -trens, π -barcos) e vice-versa. (MONTREUIL *et al.*, 2014). A Figura 9 representa operação de transferência em um π -trânsito de π -carregadores para π -veículos.

Figura 9- Operação de transferência de π -carregadores para π -veículos



Fonte: Montreuil *et al.*, (2014).

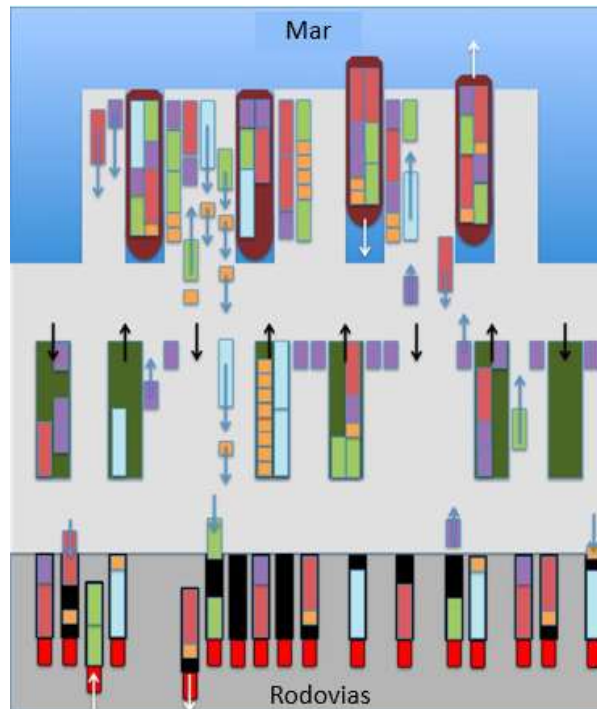
Um π -interruptor é um π -nó que tem por função permitir e realizar a transferência unimodal de π -contêineres de um π -movimentador de entrada para um π -movimentador de saída. Os exemplos incluem π -interruptores que realizam a transferência trilho-trilho e π -interruptores *conveyor-conveyor* (MONTREUIL *et al.*, 2014).

Uma π -ponte é um π -nó que tem uma função do mesmo tipo que um π -interruptor, especializado na transferência multimodal um-para-um; um exemplo é uma π -ponte de uma rota ferroviária. As tarefas principais de um π -interruptor e de uma π -ponte são duplas, de uma perspectiva física: seu papel principal é a transferência eficiente, segura e confiável de π -contêineres de um π -movimentador para outro; de uma perspectiva informativa, sua função

principal é garantir que o π -movimentador de recebimento esteja pronto antes que π -contêineres sejam transferidos, que todas as partes sejam informadas da transferência e que os contratos sejam rescindidos e ativados, respectivamente, para o π -movimentador de entrada e π -movimentador de saída (MONTREUIL *et al.*, 2014).

Os π -hubs são π -nós com a função de permitir a transferência de π -contêineres de π -movimentador de entrada para π -movimentador de saída. Sua função é semelhante à dos π -trânsitos, mas lidando com os próprios π -contêineres em vez de lidar estritamente com os π -carregadores. Eles estão no centro do transporte multimodal rápido, eficiente e confiável, permitindo a facilidade de transferência de π -contêineres entre combinações de transporte rodoviário, ferroviário, aquático e aéreo (MONTREUIL *et al.*, 2014).

Os π -contêineres vêm em um π -navio ou em um π -reboque puxado por um π -caminhão, então os π -hubs são organizados de modo que os π -navios entrem em uma baía onde são ancorados permitindo o carregamento dos π -contêineres de um lado e o descarregamento dos π -contêineres do outro. A dinâmica operacional implementada leva os operadores do π -hub a preparar os π -contêineres no cais apropriado para facilitar seu carregamento antes da chegada do π -navio. Uma vez que um π -navio chega, tem seus π -contêineres descarregados e transferidos para o transporte rodoviário e, em seguida, encaminhados diretamente para um π -trailer em espera ou para um armazenamento π -buffer (na Figura 10 identificado como um retângulo verde escuro) aguardando a chegada de seu π -movimentador. Quando os π -contêineres espacialmente conflitantes tiverem sido todos descarregados do π -navio, o carregamento de outros π -contêineres é iniciado, facilitado pelo fato de que foram colocados de lado do π -navio no cais. Na outra direção, quando um π -contêiner chega em um π -movimentador, ele é descarregado e encaminhado em direção a um π -armazenamento de buffer, seu cais de partida ou ainda diretamente seu π -navio (MONTREUIL *et al.*, 2014).

Figura 10 - Modelo de um π -hub

Fonte: Montreuil *et al.*, (2014).

A Figura 10 mostra um π -hub que liga estradas com rotas marítimas. Hubs mais complexos incorporam π -classificadores, π -compositores, π -armazenamentos e π -temporários. Primeiro, os π -classificadores ajudam a classificar os π -contêineres de entrada e canalizá-los para sua π -transportadora atribuída. Em segundo lugar, os π -compositores permitem a entrada π -contêineres compostos a serem decompostos em conjuntos de menores π -contêineres, cada um com seu destino alvo específico e tempo de partida, π -movimentador, e os π -contêineres compostos a serem compostos a partir de π -contêineres de entrada e colocados nos π -movimentadores de partida, de acordo com as especificações do cliente. Terceiro, os π -armazéns temporários permitem flexibilidade na sincronização de chegadas, consolidações e partidas de π -contêineres (MONTREUIL *et al.*, 2014).

Um π -classificador é um π -nó que recebe π -contêineres de um ou vários pontos de entrada e classifica-os de modo a despachar cada um deles de um ponto de saída específico, em uma ordem específica. Os π -classificadores são tipicamente embutidos em π -nós mais complexos, como π -hubs (MONTREUIL *et al.*, 2014).

Um π -compositor é um π -nó com a função de construir π -contêineres compostos a partir de conjuntos especificados de π -contêineres, geralmente de acordo com um *layout 3D* especificado pelo cliente final ou com o objetivo de melhorar a eficiência na Internet física, e / ou de desmontagem de π -contêineres compostos em um número de π -contêineres que podem

ser unitários menores ou π -contêineres compostos, de acordo com as especificações do cliente. A composição e decomposição dos π -contêineres compostos são realizadas respectivamente ao se encaixar (intertravar) e desencaixar seus π -contêineres constituintes menores.

O π -hub possui 3 principais diferenças se comparado com os hubs convencionais:

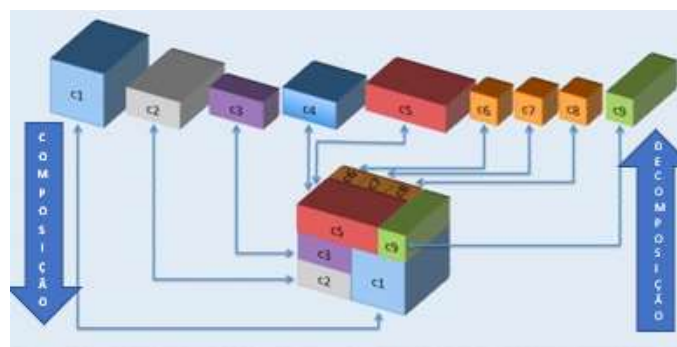
- Não está limitado a apenas dois tamanhos de contêineres;
- Usa propositalmente pequenas embarcações em vez de cargas enormes;
- Seu fluxo de trabalho é simplificado e rápido o suficiente para que alguns contêineres já deixem o local antes mesmo que sua embarcação de origem (entrada) seja completamente descarregada ou recarregada.

Em geral, os π -hubs mais simples desembarcam π -contêineres de seus π -movimentador de entrada e os disponibilizam no interior de π -hubs onde estão prontos para reembarcar em seus π -movimentadores de saída. Enquanto isso, seus π -movimentadores de entrada são alimentados com outros π -contêineres e partem do π -hub. Existe, portanto, um fluxo contínuo de π -contêineres de entrada, trânsito e saída (MONTREUIL *et al.*, 2014).

Alguns π -hubs, por exemplo aqueles envolvendo transporte ferroviário e aquaviário, podem se restringir para lidar apenas com π -contêineres maiores. Por exemplo, podem afirmar que só movimentam π -contêineres com largura e altura de 2,40 m, com comprimentos de 1,20 m, 2,40 m, 3,60 m, 4,80 m, 6 m e 12 m. Outros π -hubs podem, por outro lado, focar em π -contêineres de menor dimensão, enquanto outros ainda podem ter como objetivo ofertas abrangentes com restrições dimensionais mínimas. São decisões estratégicas a serem tomadas por seus proprietários, com base em sua intenção de negócio (MONTREUIL *et al.*, 2014).

A Figura 11 ilustra a funcionalidade de um π -compositor, representando nove π -contêineres interligados para compor um π -contêiner composto. O π -contêiner resultante na Figura 10 é um cubo perfeito sem espaço vazio.

Figura 11- O π -contêiner composto

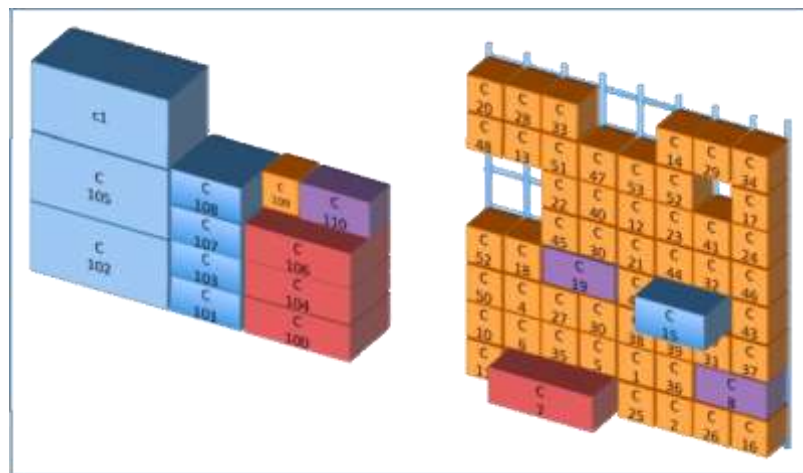


Fonte: Montreuil *et al.* (2014).

Nem sempre será possível alcançar um ajuste perfeito como na Figura 10; nesses casos, há duas opções básicas em relação a viabilidade de composição: primeiro, os orifícios podem ser deixados como tais quando são menores e não afetam a integridade estrutural do π -contêiner composto, e em segundo lugar, quando os orifícios têm um impacto negativo significativo na composição, estruturas vazias podem ser inseridas para preencher os orifícios. Essas estruturas modulares não precisam ter paredes fechadas e podem ser desmontadas após a decomposição do π -contêiner composto.

No geral, os π -compositores executam operações de fragmentação e desfragmentação em π -contêineres compostos. Sem nunca abrir um π -contêiner unitário, devem ser projetados para compor e decompor os π -contêineres compostos em alta velocidade, por exemplo, será normal exigir que um π -compositor seja capaz de compor em alguns minutos um π -contêiner de 1,20 x 1,20 x 6,00 metros cúbicos a partir de vinte π -contêineres menores.

Um π -armazém é um π -nó com a função de permitir e realizar para seus clientes o armazenamento de π -contêiner durante janelas de tempo mutuamente acordadas. Elas podem ser muito precisas ou mais probabilísticas, de curto ou longo prazo. Os π -armazéns diferem dos armazéns e sistemas de armazenamento convencionais em dois pontos principais. Primeiro, se concentram estritamente em π -contêineres: eles podem empilhá-los, intertravá-los, encaixá-los em uma prateleira e assim por diante. Em segundo lugar, eles não lidam com produtos como unidades de manutenção de estoque (SKUs), mas sim focam em π -contêineres, cada um sendo individualmente contratado, rastreado e gerenciado para garantir a qualidade e confiabilidade do serviço (SARRAJ, *et al.*, 2014). A Figura 12 ilustra as potencialidades de empilhamento e encaixe de um π -armazém possibilitadas pelo fato de que lida apenas com π -contêineres. A esquerda da Figura 12 ilustra um π -armazenamento na forma de empilhamento, funcional devido à flexibilidade fornecida pela modularidade dimensional e resistência estrutural dos π -contêineres.

Figura 12- Empilhamento de um π -armazém

Fonte: Montreuil *et al.* (2014).

Os π -contêineres podem ser armazenados em prateleiras convencionais, facilitado por sua dimensionalidade modular, mas possuem novos tipos de tecnologias de π -armazenamento para explorar suas características funcionais dos π -contêineres e a dinâmica da Internet Física. O encaixe consiste em prender os π -contêineres a uma grade, explorando os acessórios embutidos nos π -contêineres, sem ter que depositar os π -contêineres em uma superfície plana como no armazenamento convencional, abrindo uma grande variedade de oportunidades de inovação (FAZILI *et al.*, 2017). É bem possível que um π -armazém receba de um cliente π -contêineres compostos, desmonte-os, armazene seus π -contêineres constituintes, e então seja solicitada a remessa de alguma combinação dos π -contêineres do cliente, de forma independente ou conjunta como um π -contêiner composto recém-construído. Nesses casos, o π -armazém incorpora um π -compositor ou explora um π -compositor próximo que não faz parte da sua estrutura. Nos π -armazéns, a capacidade e velocidade de recebimento e envio de π -contêineres, capacidades dimensionais de π -contêiner, segurança, visibilidade e condicionamento são fatores importantes para realizar suas atividades. Estes, podem possuir formas variadas, como π -sistemas de armazenamento dentro das instalações, π -instalações de armazenamento ou π -locais que armazenam π -contêineres na área externa, como um π -pátio.

Os π -entradas são π -nós que recebem π -contêineres e os liberam para que possam ser acessados em uma rede privada que não faz parte da PI. Por exemplo, uma fábrica que não é habilitada internamente para a PI, pode ter π -entradas em seus centros de recebimento e expedição. As π -instalações de vários tipos podem incorporar π -entradas e centros restritos que não são explicitamente desta PI. Por exemplo, um π -distribuidor pode ter alguns centros fora

da rede PI realizando algumas operações de personalização e agregar valor em alguns tipos de produtos embutidos em π -contêineres, de acordo com as especificações do cliente. Esses centros podem abrir π -contêineres e realmente trabalhar em seus serviços. As π -entradas garantem a saída e a reentrada de tal centro de π -contêineres fora da Internet Física (OKTAEI, *et al.*, 2014).

As π -entradas têm funções físicas e informativas: no lado físico, garantem a integridade física dos π -contêineres e sua transferência física eficiente e segura para dentro e para fora dos π -movimentador, π -sistemas e π -instalações. Do lado informativo, interagem com o agente π -contêiner de modo a validar a identidade do mesmo bem como os acordos contratuais, para iniciar seu rastreamento quando apropriado, para ser informado de seu primeiro destino dentro da Internet física e assim por diante.

Segundo Sarraj *et al.* (2014), os elementos mais complexos não foram descritos, por exemplo, os π -distribuidores são equivalentes aos centros de distribuição atuais, embora restritos aos π -contêineres, podendo incorporar qualquer combinação dos tipos acima de π -nós, realizando operações de *cross docking*, como π -hubs, armazenar π -contêineres como π -armazéns. Ainda há outros elementos físicos a serem definidos e, observa-se uma grande oportunidade de inovação trazida pela introdução do conceito da Internet Física, seja para fornecedores de tecnologia de manuseio de materiais e/ou designers de instalações logísticas.

Compreender o conceito da Internet Física é contribuir para descobrir uma grande variedade de novos e importantes caminhos de pesquisa, sendo que cada elemento físico da PI requer melhor caracterização, modelagem, prototipagem e teste. Para Sarraj *et al.* (2014) é na interação entre π -contêiner, π -movimentadores, π -nós e engenharia que se encontra uma oportunidade de pesquisa, tanto entre as interfaces físicas como nas informativas e financeiras de modo a obter uma transformação gradual dos conjuntos existentes de contêineres, movimentadores, sistemas, instalações, locais e protocolos ao longo de um roteiro para uma implementação completa da Internet Física.

2.4. MARCOS DA IMPLANTAÇÃO DA INTERNET FÍSICA

Nos últimos anos, o grupo de pessoas e organizações desenvolvendo e apoiando a PI, se encontra principalmente na Europa. O grupo Alliance para Inovação Logística por meio da Colaboração na Europa (ETP-ALICE ou ALICE), foi formado para alinhar os interesses das partes interessadas (ETP, 2021). Este grupo preparou planos sobre como alcançar a implantação da Internet Física em 2050 por meio de um conjunto de roteiros destinados a influenciar financiadores de pesquisa, como a Comissão Europeia que tem apoiado financeiramente a

pesquisa sobre Internet Física (PAN *et al.*, 2017). Pesquisas futuras devem se concentrar em novos conceitos de colaboração horizontal e vertical completa da cadeia de suprimentos, que por meio do aumento da colaboração e coordenação pode resultar na Internet Física (CHEN *et al.*, 2017)

A Plataforma Tecnológica Europeia ALICE foi criada para desenvolver uma estratégia abrangente para a pesquisa, inovação e implantação no mercado de logística e inovação na gestão da cadeia de abastecimento na Europa. Baseia-se no reconhecimento da necessidade de uma visão abrangente sobre logística e planejamento e controle da cadeia de suprimentos, na qual transportadores e prestadores de serviços de logística colaboram estreitamente para alcançar operações logísticas e de cadeia de suprimentos eficientes (ETP, 2021).

O roteiro proposto pelo grupo ALICE, para a visão da Internet Física nos anos 2050, descreve algumas etapas necessárias de pesquisa e desenvolvimento, mas não os mecanismos de adoção, ou seja, como o conceito poderia ser disseminado, assumindo-se que a adoção é desejável com base nos efeitos positivos declarados da PI. O projeto também sugere que haja uma abordagem ascendente para a adoção da Internet Física tornando a viável.

Assim, pode-se apresentar de forma sucinta os seguintes estágios da Internet Física previstos para os próximos anos (ETP, 2021):

- 2020 - Alinhamento total da economia, metas ambientais, sociais e de segurança,
- 2030 - Tomada de decisão integrada na cadeia de suprimentos ponta a ponta,
- 2040 - Obtenção de cadeias de abastecimento seguras e protegidas para economia circular,
- 2050 - Funcionamento da Internet física.

As ações previstas pelo grupo ALICE estão focadas em 5 pontos:

- Cadeias de abastecimento sustentáveis, seguras e protegidas;
- Trajetos, hubs e sincromodalidade;
- Sistemas de informação para interconectados;
- Colaboração Logística;
- Coordenação da rede de abastecimento global;
- Logística urbana.

Tais ações integram agentes representados na Figura 13, sejam eles empresas, governos, pesquisadores e sociedade:

Figura 13- Atuantes da implementação da PI



Fonte: Autor (2021).

Na visão do grupo ETP (2021) a logística do futuro, de global a urbana, será baseada em um grande sistema aberto global contendo subsistemas, permitindo que ativos e recursos em redes logísticas sejam interconectados, facilitando seu uso ao máximo de capacidade e produtividade, enquanto aumenta a agilidade e resiliência das cadeias de abastecimento. Embora esta seja uma visão para o futuro da Logística, deve-se observar quais os caminhos as empresas estão seguindo no Brasil nesse sentido, especialmente, onde existem alguns obstáculos de infraestrutura e financeiros para implementar algumas melhorias. Deve-se verificar quais ações de inovações no sentido tornar a PI uma realidade está sendo realizadas, como estudos para possibilitar a padronização de modelos de contêineres no transporte internacional, compartilhamento de dados, compartilhamento de infraestruturas, e ações que possibilitem distribuições hiperconectadas, para que a logística brasileira acompanhe as tendências mundiais.

3. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste estudo algumas etapas foram realizadas:

1. Identificação de publicações científicas existentes a respeito da Internet Física no intuito de caracterizá-la, identificando seus principais componentes;
2. Verificação na literatura sobre oportunidades e desafios vislumbrados pela adoção da PI;
3. Execução de entrevistas com componentes representantes da PI (indústrias, terminais portuários, transportadoras) no intuito de obter a percepção dos mesmos quanto a oportunidades e desafios de adoção da PI;
4. Relato das conclusões sobre oportunidades e desafios para adoção da PI no cenário brasileiro

Iniciando-se pela busca bibliográfica sobre o tema (PI) e conceitos relacionados, utilizou-se a plataforma de dados *Periódicos da Capes*, onde obteve-se acesso a artigos científicos, relatórios, tese de doutorado e livros que abordam diretamente o conceito de Logística “Internet Física”. A fim de delimitar o escopo de busca utilizaram-se as seguintes palavras-chaves de busca em inglês: *Logistics; Transport; Supply; Distribution; Supply chain* que foram adicionadas à busca do termo Internet Física. O resultado desta busca deu origem à revisão e comparação das contribuições, principalmente, dos autores: Montreuil et al. (2014), Treiblmaier et al., (2016), Pan et al., (2017), e recentemente PLASCH et al., (2021). Foi então analisado, estruturado e apresentado o conteúdo científico encontrado sobre a Internet Física: caracterizando o tema de estudo, relatando as contribuições já estudadas e apresentando os principais componentes físicos que compõe a PI, bem como um roteiro atual de implementação da PI.

Já na terceira etapa pretendeu-se identificar o nível de conhecimento sobre o conceito de Internet Física em empresas que utilizam/realizam serviços de logística/transporte. Para isso foram realizadas entrevistas com representantes de empresas e operadores logísticos brasileiros. E por fim, na quarta etapa, houve a sintetização das informações obtidas durante a realização das entrevistas, agrupando as respostas em categorias.

3.1. ENTREVISTA

Na etapa de coleta de dados, utilizou-se a entrevista semiestruturada qualitativa. De acordo com Yin (2016), a pesquisa qualitativa é uma área de investigação que se caracteriza, principalmente, por investigar processos relativos à existência dos indivíduos captando, por meio de técnicas adequadas, as visões, concepções e perspectivas. E segundo Kauark *et al.* (2010), a pesquisa qualitativa pode ser considerada como a que prevê uma existência de relações entre os sujeitos envolvidos na pesquisa e o meio no qual está inserido. Os conceitos apresentados se aplicam na proposta deste estudo, que deseja verificar a opinião dos entrevistados baseado nas experiências de suas carreiras e atividades exercidas.

A diretriz da entrevista proposta propõe a identificação do estágio atual de operação/tecnologia empregado no sistema logístico e de transporte pelas empresas entrevistadas, bem como a identificação das oportunidades e desafios de adoção da Internet Física. Buscou-se garantir um clima de confiança para que o respondente ficasse à vontade para se expressar livremente. A entrevista teve a participação individual de 16 representantes de empresas e operadores logísticos brasileiros, os quais responderam a 15 questões sobre pontos relevantes para o contexto de Internet Física, cujos quais foram já abordados no Capítulo 2.

As principais categorias de assuntos abordados durante a entrevista foram:

- Padronização de embalagens;
- Digitalização de processos e interfaces;
- Compartilhamento de dados e
- Compartilhamento de infraestrutura;
- Colaborações horizontais;
- Sobre segurança de dados;
- Sobre tendências de modernização de processos e expectativas futuras

No apêndice A, encontra-se o questionário completo aplicado aos entrevistados durante as entrevistas. Tais entrevistas foram realizadas e gravadas por meio de videoconferências utilizando a plataforma *Google Meet*, posteriormente transcritas e analisadas a partir das categorias citadas. As entrevistas ocorreram na primeira quinzena do mês de agosto de 2021, o público alvo foram pessoas atuantes na área logística no Brasil. No total foram contatadas 28 pessoas por indicações, e-mails e mensagens via *LinkedIn*, dos quais 16 foram respondentes, se caracterizando como uma amostragem intencional, que é um método de amostragem não probabilístico, isso ocorre quando os elementos selecionados para a amostra são escolhidos pelo critério do investigador (MANZATO E SANTOS, 2012).

Para uma compreensão do termo e certificação de que todos os entrevistados tiveram acesso ao nível mínimo de entendimento do tema, inicialmente foi realizada uma apresentação do tema (PI) aos mesmos, para que pudessem se ambientar com o assunto e, da mesma forma, promover o conceito de Internet Física. Durante a realização das entrevistas procurou-se explorar as opiniões, experiências, crenças e motivações dos entrevistados no contexto do estudo, além de investigar possíveis oportunidades e dificuldades vislumbrados para a implementação da PI no cenário brasileiro.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados das entrevistas realizadas com os representantes de empresas e operadores logísticos brasileiros, apontando suas opiniões/visões sobre a implementação da PI no Brasil.

Para a obtenção dos dados deste estudo um grupo de profissionais atuantes na área logística, com cargos de diretores, gerentes, coordenadores, analistas e técnicos, foi entrevistado. Dentre o grupo de entrevistados, nove são representantes de indústrias, que realizam a distribuição de seus itens para todo o Brasil (seis delas possuem sede internacional), e um representante é do setor varejista, cujo grupo representa 600 lojas no Brasil e exterior. A fim de englobar outros pontos dentro da cadeia de distribuição o grupo de entrevistados também conta com três representantes do setor portuário, dois representantes de empresa de soluções logísticas e um representante do transporte de carga rodoviária.

Todas as empresas entrevistadas utilizam-se de transporte multimodal para exportar e/ou importar suas cargas e utilizam frota terceirizada para distribuição de seus produtos no mercado. Todos os entrevistados possuem cargos envolvidos com a área de logística nas empresas em que atuam. O porte das empresas dos entrevistados foi classificado a partir da escala determinada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE (2013), por número de colaboradores.

Indústria:

- Micro: com até 19 empregados
- Pequena: de 20 a 99 empregados
- Média: 100 a 499 empregados
- Grande: mais de 500 empregados

Comércio e Serviços:

- Micro: até 9 empregados
- Pequena: de 10 a 49 empregados
- Média: de 50 a 99 empregados
- Grande: mais de 100 empregados

O Quadro 3 apresenta a região do Brasil em que o entrevistado trabalha e o seu cargo na empresa e o porte dela.

Quadro 3- Identificação dos entrevistados

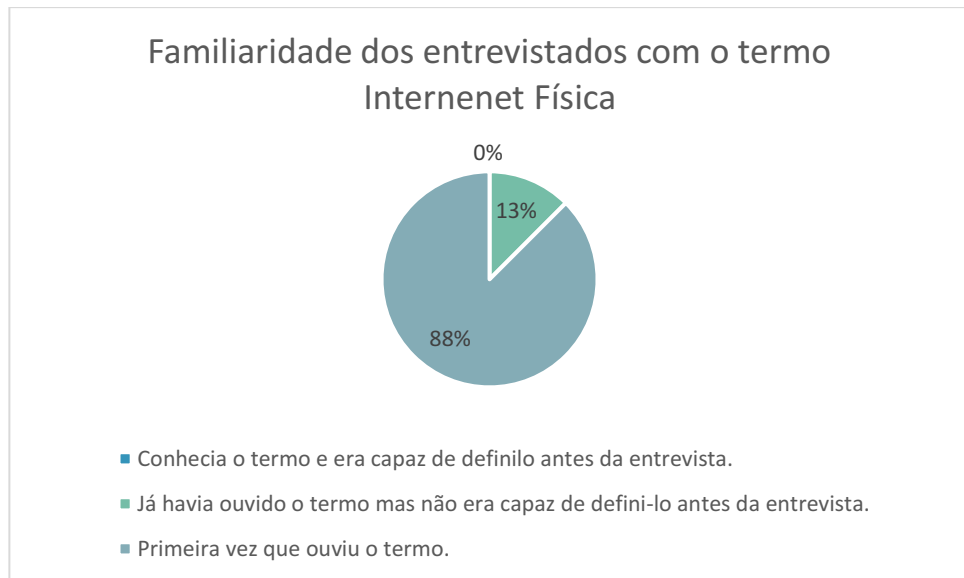
Identificação	Atividade que a empresa em que o entrevistado realiza	Matriz	Cargo do entrevistado	Porte da empresa
AI	Indústria - Eletrodoméstico linha branca	SC	Especialista em processo e logística	Grande
BI	Indústria - Máquinas e equipamentos automotivos	SC	Coordenador logística	Grande
CI	Indústria - Materiais de construção	SP	Diretor	Médio
DI	Indústria - Eletrodoméstico linha branca	SC	Gerente logística internacional	Grande
EI	Indústria - Máquinas e equipamentos automotivos	SC	Coordenador de melhoria contínua de processos e logística	Médio
FI	Indústria - Máquinas e equipamentos médicos	SC	Gerente de <i>Supply Chain</i>	Grande
GI	Indústria - Materiais de construção	SC	Coordenador logística	Grande
HI	Indústria - Máquinas e equipamentos industriais	SC	Analista de logística	Grande
II	Indústria - Materiais de construção	SC	Supervisor de centro de distribuição	Grande
JR	Rede varejista vestuário e calçados	RS	Analista de estoque e inventários	Grande
KP	Porto	SC	Analista técnico em gestão portuária	Grande
LP	Porto	SC	Agente de obras e infraestrutura	Grande
MP	Porto	SC	Assistente de inovação aberta	Grande
NT	Transporte rodoviário de carga	SC	Diretor	Médio
OS	Empresa de solução logística	PR	Especialista	Pequeno
OS	Empresa de soluções logística	SP	Especialista em projetos de rede em Cadeias de Suprimentos	Pequeno

Fonte: Autor (2021)

4.1. FAMILIARIDADE COM O TEMA

O primeiro ponto da entrevista foi compreender o quanto o conceito de PI estava difundido entre os entrevistados e se eles eram capazes de defini-lo antes da apresentação realizado pelo autor deste estudo. Nenhum dos entrevistados conhecia o tema a ponto de defini-lo em detalhes ou caracterizá-lo, porém 13% dos entrevistados já haviam se relacionado com o termo, mas não o conhecia em detalhes. Este grupo teve contato com o tema por meio de conversas com membros de universidades e reportagens disponível em sites internacionais referente a economia e ciência. Os demais entrevistados tiveram contato com o tema pela primeira vez no momento da entrevista. Todos os entrevistados apoiaram a proposta apresentada e afirmaram que a busca pelas soluções das insustentabilidades logísticas é uma iniciativa necessária. O Gráfico 1 representa a familiaridade do termo Internet Física entre os entrevistados.

Gráfico 1- Familiaridade dos entrevistados com o termo Internet Física



Fonte: Autor (2021).

4.2. PADRONIZAÇÃO DE EMBALAGENS

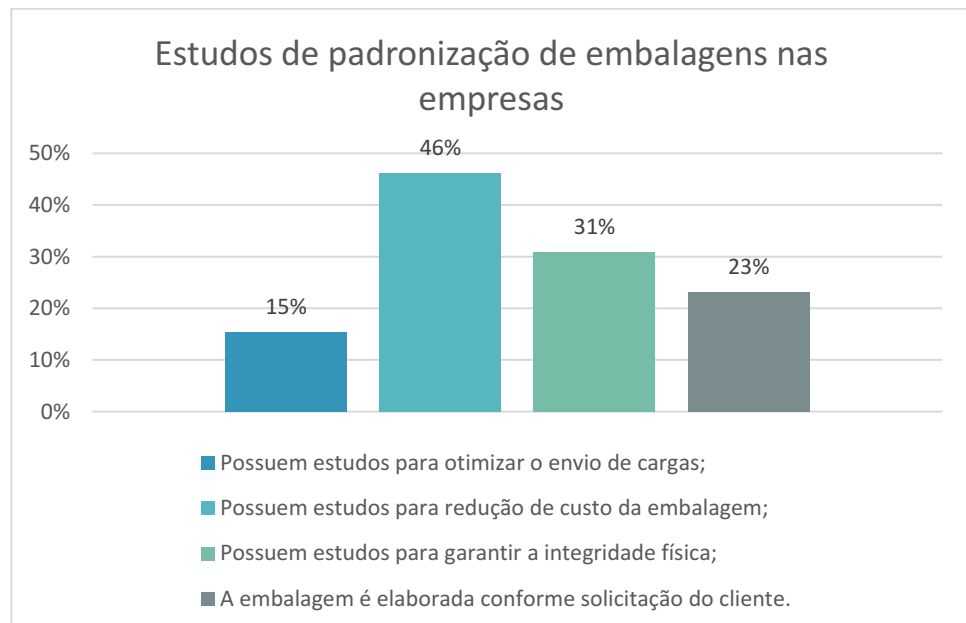
Um dos pontos de insustentabilidade logística que a PI busca solucionar é o aproveitamento dos espaços das embalagens dos produtos e Landschützer *et al.* (2015) citam que a PI opera por meio de encapsulamento de bens físicos em uma embalagem modular padronizada. Neste sentido, buscou-se investigar se há ações específicas nas empresas

representadas pelos entrevistados em relação à otimização de embalagens para aproveitamento dos espaços, padronização ou modo de envio de carga.

Todos os entrevistados afirmaram que na empresa onde atuam há análises em relação à otimização de embalagens, porém destes, apenas 15% dos entrevistados informaram realizar com o propósito de otimizar e ajustar o envio das suas mercadorias, 46% dos entrevistados realizam estudos explorando o aproveitamento dos espaços da mercadoria nas embalagens e materiais utilizados, com o propósito de redução de custo da embalagem, 31% dos entrevistados realizam estudos apenas para garantir a integridade física dos produtos no envio e, 23% elaboram suas embalagens conforme solicitação do cliente não sendo possível realizar alterações.

Os entrevistados afirmam que a padronização é importante, e que a melhoria do processo de produção de embalagens e modo de envio dos itens também são diferenciais para as empresas, porém levantam a preocupação na maneira de padronizá-las, devido ao *mix* variado de produtos e suas formas de envio, que podem exigir mão de obra especializada, normas ou equipamentos diferenciados. O Gráfico 2 ilustra os propósitos de estudos das empresas em relação a embalagens.

Gráfico 2- Estudos de padronização de embalagens nas empresas



Fonte: Autor (2021)

4.3. COMPARTILHAMENTO DE CARGAS

O compartilhamento de cargas é a prática utilizada por empresas que tem como objetivo a utilização compartilhada do veículo para otimizar os ganhos com as viagens. Neste contexto averiguou-se se atualmente já há busca por melhorias nas distribuições de produtos, como redução de frete, redução do tempo de entrega, distribuição ampla de mercadorias envolvendo compartilhamento de cargas. Identificou-se que as empresas possuem uma equipe focada na análise e redução de fretes e, redução do tempo de entrega (tempo de distribuição). Todas as empresas utilizam transportadoras terceirizadas, com acompanhamento mensal da performance das mesmas e, plano de ação em conjunto. Também é realizada a análise anual, das transportadoras que oferecem o melhor serviço, operando com várias transportadoras por região. Porém, as empresas nunca avaliaram a possibilidade de compartilhamento de cargas organizado pela própria empresa; mas como todas as cargas são fracionadas, esse processo já é feito naturalmente pelas transportadoras terceirizadas.

As empresas buscam melhorias com estudos de roteirização e presam pelo atendimento ao cliente ao invés de consolidação das carga, entendendo como um grande desafio o compartilhamento de carga pois há produtos que, se colocados em caixas, seguem um fluxo padrão de transporte, porém há produtos que não são todas as transportadoras que realizam o transporte e há itens que necessitam de manuseio especial ou regra de transporte específica, dificultando o compartilhamento de carga e também a padronização de embalagens citado anteriormente.

4.4. COMPARTILHAMENTO INFRAESTRUTURA

Na PI o papel dos armazéns e centros de distribuição mudará para centros abertos, que recebem e fazem o *cross dock* de contêineres de diversas empresas, ocorrendo a abertura de sua infraestrutura para outros prestadores de serviços. Nesse cenário investigou-se se as empresas planejam compartilhar a infraestrutura com outras empresas e, como consideram a gestão destes centros.

Nenhuma das empresas entrevistadas tem projetos com expectativa de compartilhar infraestrutura. Alguns entrevistados consideram as instalações físicas das empresas como um diferencial estratégico nas suas operações, relacionando-o à vantagem industrial; também há uma parcela (38%) dos entrevistados que já utilizam compartilhamento de armazéns, mas operados por empresas terceiras. Os entrevistados veem o compartilhamento de infraestrutura

como um desafio para as empresas, e que na colaboração horizontal devem garantir o sigilo de informações.

Para os entrevistados é unânime a necessidade dos centros e armazéns serem operadores por um parceiro neutro/independente, nada ou pouco envolvido na indústria, para que não haja vantagens entre empresas, preferências em situações de gargalos e, para que mantenham o sigilo e privacidade das informações manipuladas.

4.5. DIGITALIZAÇÃO

O envio de embalagem no fluxo proposto pela PI disponibiliza acesso a dados de identificação e rastreamento e, nesse contexto buscou-se identificar quais tipos de etiquetas as empresas representadas pelos entrevistados utilizam e, se há rastreabilidade dos produtos enviados, além de elencar o que os entrevistados acreditam ser os maiores desafios de digitalização dos processos nas empresas.

Todas as empresas entrevistadas utilizam código de barras para o controle de estoque internamente, almoxarifado e estoque em processo. Dentre os entrevistados, 54% operam com código de barra EAN (*European Article Number*) para todos os produtos distribuídos e 31% estudam a viabilidade de implantar a RFID em seus processos. Também há 7% das empresas que utilizam RFID em todo seu processo, e 7% das empresas utilizam RFID em apenas um dos processos (por exigência do cliente).

Existe o controle para o acompanhamento da entrega dos pedidos, dentro do sistema das empresas. Esse controle é realizado com as transportadoras, com rastreabilidade da nota fiscal e feito pela troca de EDI- Intercâmbio Eletrônico de Dados (*Electronic Data Interchange*); e em uma das empresas representadas pelos entrevistados o registro é feito por foto (ao retirar a mercadoria e ao entregar realizam o registro e arquivam em um sistema *mobile*). O EDI é uma tecnologia que possui o objetivo de padronizar e otimizar a comunicação entre sistemas de informação variados. Essa troca de informações é viabilizada quando as empresas que desejam realizar a troca de dados sigam um padrão, que precisa ser estabelecido entre elas. A rastreabilidade então fica por conta das transportadoras, que por sua vez possuem projetos ligados à rastreabilidade da frota, mas não ligada à carga (IMB, 2021).

Os entrevistados afirmam que rastreamento e disponibilidade de informações sobre os produtos tem sido exigências cada vez mais constantes por parte dos clientes e acreditam que o desenvolvimento de etiquetas inteligentes seja uma tendência.

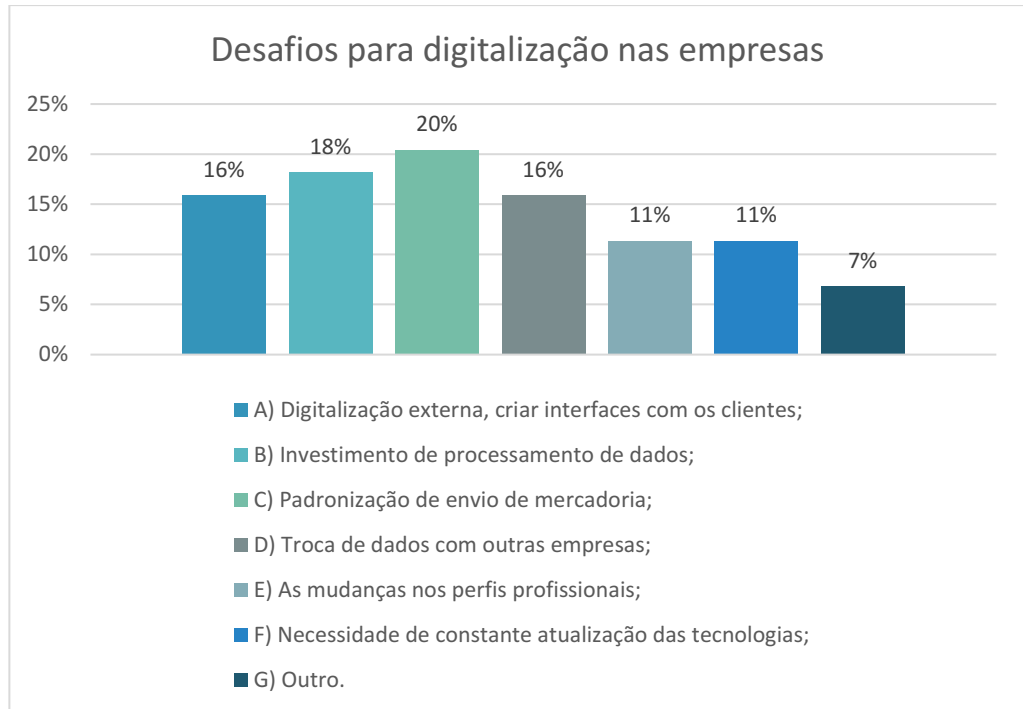
No processo de digitalização 16% dos entrevistados acreditam que a digitalização externa, ou seja, a criação de interfaces com os clientes será um grande desafio; 18% avaliam que o investimento em processamento de dados (*softwares*, acesso a nuvem, entre outros), seja um ponto desafiador dentro dos orçamentos das empresas; 20% veem a padronização de envio de mercadoria como sendo a ação mais desafiadora no perfil das empresas, pois avaliam a demanda do cliente e ações necessárias para essa ação ocorrer.

Ainda, 16% das empresas entrevistadas avaliam que a troca de dados com outras empresas será um desafio pois exigirá uma mudança cultural por parte das mesmas; 11% acreditam que as mudanças nos perfis profissionais deverão acontecer, pois os profissionais deverão distinguir que a tecnologia é uma ferramenta para melhorar o desempenho do profissional e não a substituição do profissional, além de buscar estar sempre inteirado dos novos conceitos.

Dentre os questionados, 11% apontam necessidade de constante atualização das tecnologias como um desafio por conta dos investimentos e tempo de adaptação das tecnologias; 7% citaram outros desafios a serem tratados a partir da implementação da PI como: manter a qualidade no atendimento ao cliente, a dificuldade de comprovação de retorno sobre os investimentos em tecnologia e falta apoio e governamental, sugerindo a criação de uma autoridade de inovação que estimule com concursos e financiamentos.

O Gráfico 3 elenca a visão dos entrevistados quanto aos maiores desafios que as empresas terão no que diz respeito à digitalização frente à Internet Física.

Gráfico 3- Desafios para digitalização nas empresas



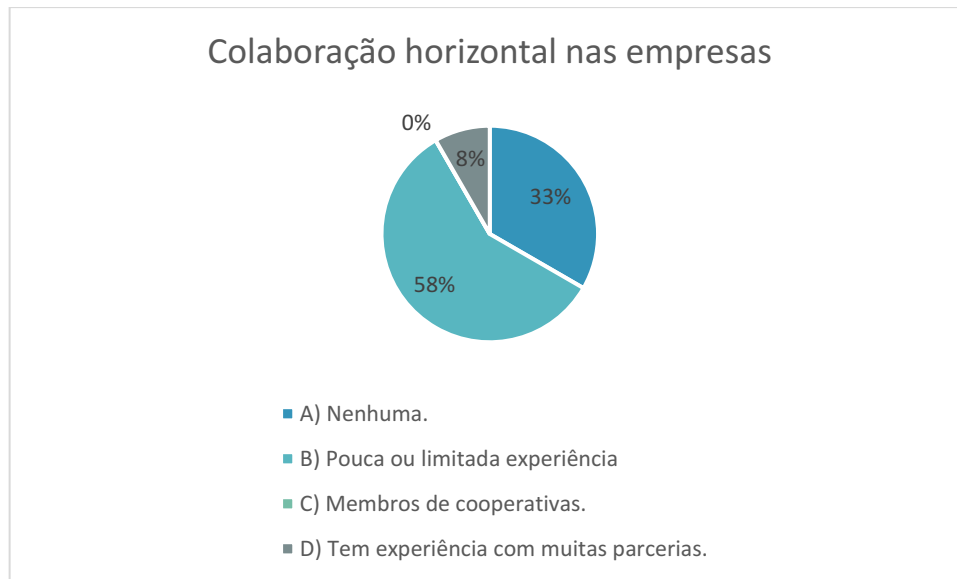
Fonte: Autor (2021).

4.6. COLABORAÇÕES HORIZONTAIS

A colaboração horizontal é um conceito já existente, que é pertinente dentro das relações que a PI promove. Nesse sentido buscou-se verificar se há a prática de colaboração logística entre duas ou mais empresas, com o objetivo de gerar benefícios para ambas, o que não seria possível de forma independente.

Todos os entrevistados afirmam realizar colaboração vertical, tipo de colaboração que ocorre dentro da mesma cadeia de suprimentos, as áreas ou setores realizam atividades ou serviços complementares. No que diz respeito à cooperação entre seus fornecedores e clientes, mas 33% dos entrevistados não realizam colaboração horizontal, 58% realizam pouca ou limitada experiência de colaboração horizontal, nenhuma empresa realiza colaboração com membros de cooperativas e 8% afirmam ter experiência com muitas parcerias. O Gráfico 4 apresenta o percentual de prática colaborativa horizontal das empresas.

Gráfico 4- Colaboração horizontal nas empresas



Fonte: Autor (2021).

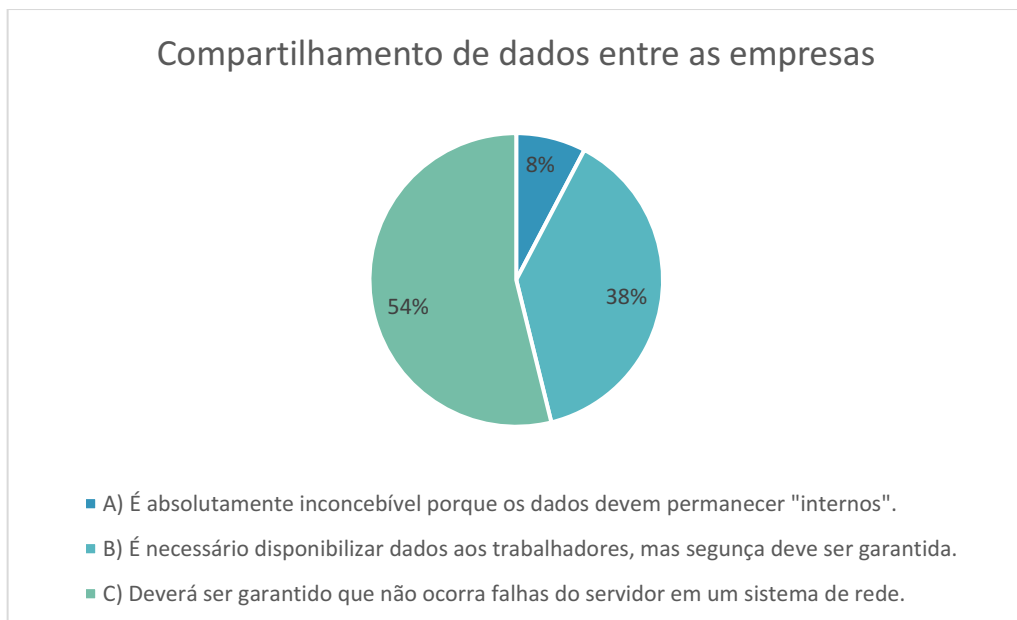
As experiências citadas pelos entrevistados em relação a parcerias com empresas concorrentes acontecem quando elas possuem problemas em comum e buscam soluções para resolver conjuntamente e, também, para negociar preços praticados no mercado; mas ainda veem essa colaboração como situação pontual. Uma parcela (31%) dos entrevistados afirma ainda que é inconcebível a prática de colaboração com empresas correntes. Os entrevistados acreditam que o processo de colaboração seja importante e de grande aprendizado, mas que a cadeia de suprimentos brasileira ainda precisa amadurecer muito antes desse processo, necessitando transparecer confiabilidade e proteção de dados ao realizá-las.

4.7. SEGURANÇA DE DADOS

Como as abordagens colaborativas levam a um compartilhamento mais aberto de dados entre os parceiros da cadeia de suprimentos, todos os entrevistados afirmaram que a segurança em termos de fluxos de dados e informações relacionados à infraestrutura compartilhada, é de vital importância e que a proteção de dados e privacidade devem ser garantidas. O Brasil vem se desenvolvendo nos protocolos de segurança de dados, e as empresas tiveram que se adequar à Lei Geral de Proteção de Dados - LGPD (Lei n. 13.709/2018), legislação específica para proteção de dados e da privacidade dos seus cidadãos, que entrou em vigor em setembro de 2020.

Para a prática de compartilhamento de dados com outras empresas 8% dos entrevistados afirmaram que a prática é inconcebível porque os dados devem permanecer "internos". Já 38% dos entrevistados acreditam que a segurança dos dados deve ser garantida, mas como é necessário colocar os dados à disposição dos trabalhadores, a proteção dos dados é difícil de garantir. A maior parcela dos entrevistados (54%) alega que deverá ser garantido que não ocorram falhas do servidor em um sistema de rede, para que não seja disponibilizadas informações além das permitidas pelas empresas. As afirmações sobre compartilhamento de dados entre as empresas são representadas no Gráfico 5.

Gráfico 5- Compartilhamento de dados entre as empresas



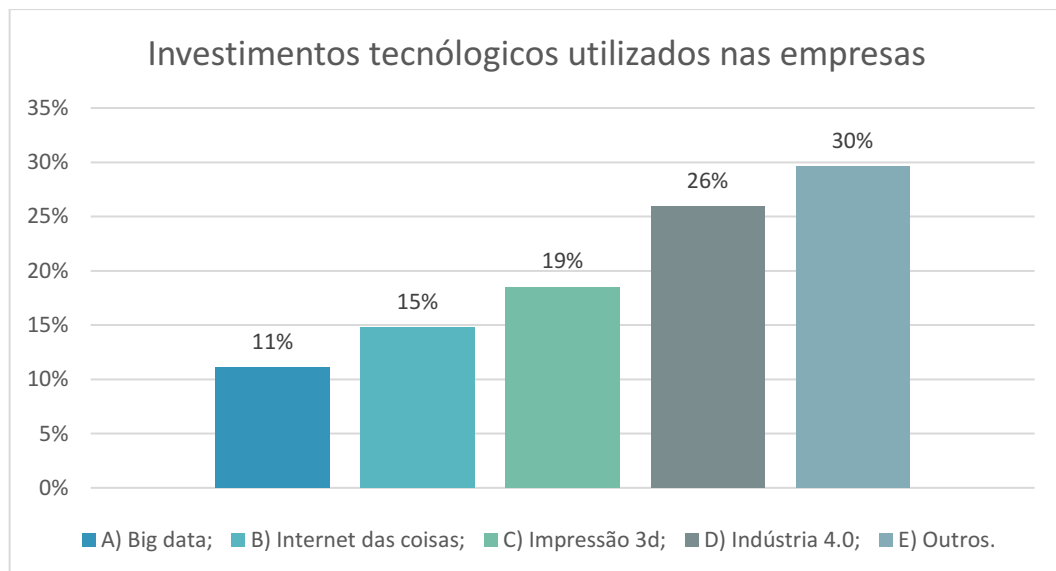
Fonte: Autor (2021).

4.8. EXPECTATIVAS FUTURAS

Os entrevistados comentam que a inserção da tecnologia no cotidiano mudou não só as relações entre as pessoas, mas também a maneira como elas lidam com tudo o que as cercam, como o consumo. O mercado está competitivo, tem aumentado o número de empresas, a qualidade dos produtos e serviços oferecidos e, essa mudança faz com que as organizações tenham que investir em inovação nos produtos e processos, bem como nas suas próprias estruturas internas. A tecnologia permite um trabalho mais eficaz, segundo os entrevistados, bem como a utilização correta dos recursos, o que leva a uma redução de custos.

Buscou-se ainda investigar quais ferramentas tecnológicas as empresas têm implementado e todas afirmaram que realizam investimento em tecnologias pois buscam maior alinhamento da equipe e melhorar os processos influenciando diretamente o aumento da produtividade. Assim, 11% dos entrevistados informaram que as empresas onde trabalham tem investimento em Big Data, 15% tem projetos relacionados à Internet das Coisas, 19% realizam impressão 3D, 26% tem projetos voltados à Indústria 4.0 e 30% das empresas possuem uma área específica relacionada à inovação, que buscam novas soluções para diversos setores. Uma parcela (31%) dos entrevistados afirma que os investimentos em inovação são mais ligados à área de manufatura comparada a área logística. Ver resumo de investimentos tecnológicos no Gráfico 6.

Gráfico 6- Investimentos tecnológicos utilizados nas empresas



Fonte: Autor (2021)

Os portos brasileiros possuem um sistema de informação que tem como objetivo principal reunir em um único meio de gestão as informações e a documentação necessárias para agilizar a análise e a liberação das mercadorias no âmbito dos portos brasileiros, e já possuem iniciativas para se tornarem um porto inteligente desenvolvendo tecnologia para resolver os desafios internos e externos da organização e, para facilitar o movimento de mercadorias, entrega de serviços e fluxo de informações de forma eficiente.

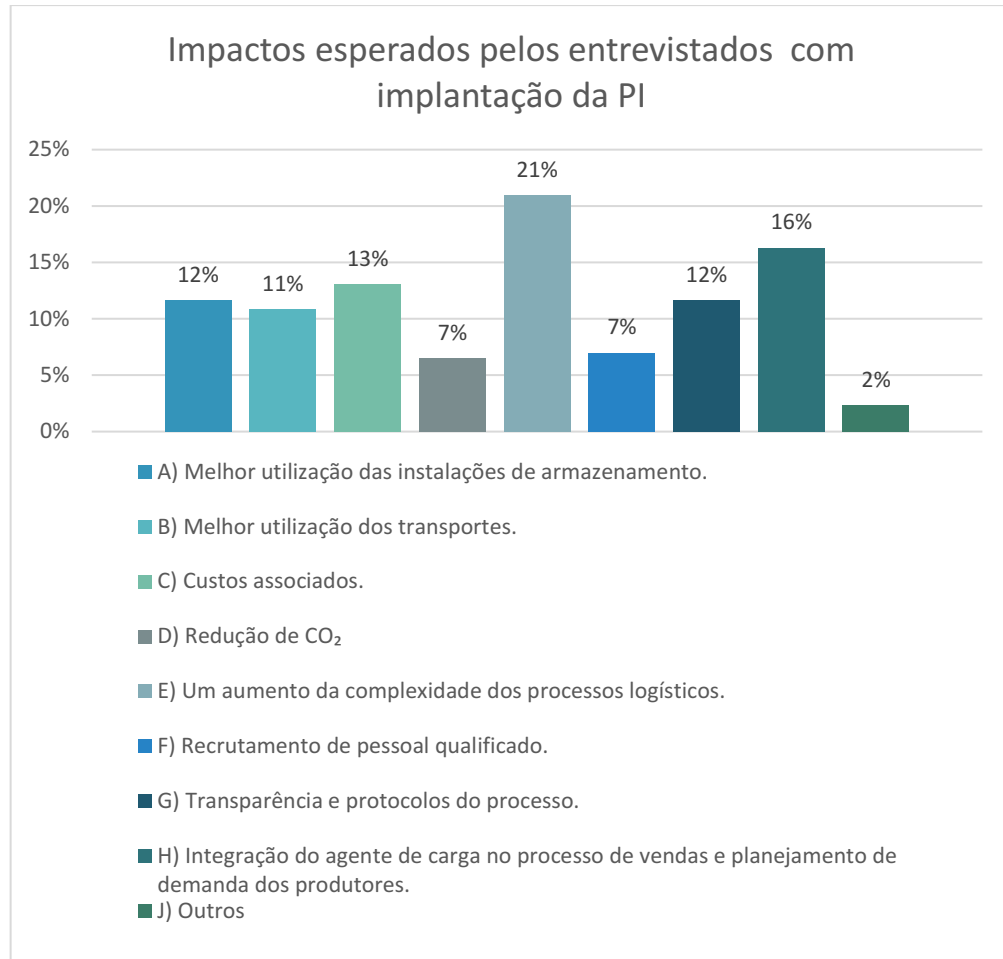
Os entrevistados pontuam que há necessidade de implementar novas tecnologias para otimizar a administração do negócio, como gerir as informações obtidas externamente para desenvolver soluções ainda melhores aos consumidores e aos próprios colaboradores, sendo

que a tecnologia pode ajudar as organizações em todos os seus setores; e assim, a partir do momento em que a empresa implementa uma cultura de inovação internamente, fica mais fácil alinhar o trabalho de toda a equipe.

Com todas as transformações culturais e tecnológicas que a PI busca promover os entrevistados foram questionados sobre quais pontos eles consideram que serão mais impactantes no processo de implantação da PI. Das respostas, 12% acreditam que um dos principais impactos será na melhor utilização das instalações de armazenamento e 11% vislumbra melhor utilização dos transportes. Já 13% dos entrevistados avaliam que os custos associados serão mais impactantes (alguns respondentes se referem aos custos que as empresas deverão arcar para atualizarem-se aos novos processos da PI, e outros, na redução de custos que a PI pode oferecer). Apenas 7% dos respondentes apontam que o maior impacto seria ambiental, com a redução de emissão de CO₂. A maior parcela de entrevistados (21%) afirma que haverá um aumento da complexidade dos processos logísticos, devendo haver também uma mudança no perfil dos profissionais e assim, 7% dos entrevistados afirmam que o impacto será no recrutamento de profissionais qualificados. Com o nível de burocracia praticado no Brasil, 12% dos respondentes afirmam que o impacto deverá ser na necessidade de transparência e protocolos dos processos logísticos e de compartilhamento da rede.

A PI propõe um modelo de negócio no qual há uma maior integração do agente de carga no processo de vendas e planejamento de demanda dos produtores, fator esse que é considerado impactante por 16% dos respondentes, e apenas 2% citaram um outro impacto, referente ao processo de adequação do padrão de envio para todos os tipos de mercadoria que distribuem. Observou-se que há um questionamento de como esse processo de mudança poderá atingir todos os níveis da cadeia logística, como ponto positivo, vislumbram a abertura de novos comércios tendo o aumento exponencial da globalização logística. No gráfico 7 pode-se listar os desafios esperados pelos entrevistados com implantação da PI.

Gráfico 7- Desafios esperados pelos entrevistados com implantação da PI



Fonte: Autor (2021)

Os modelos de negócios futuros de operadores logísticos são definidos pelas necessidades do cliente, pelos próprios objetivos dos despachantes, bem como pelo ambiente, que é caracterizado pela complexidade, integração, cooperação, digitalização e sustentabilidade (Pan *et al.*, 2014). Os entrevistados avaliaram o papel e o desenvolvimento tecnológico das empresas de transporte logística e também o nível de importância que ela terá na cadeia de suprimentos com a implementação da PI. Eles afirmaram que pela demanda atual dos clientes, com o comportamento de entrega cada vez mais rápida e na casa do cliente final e, pela busca na redução de custos, o compartilhamento de todo o processo logístico seja uma necessidade latente. As empresas devem focar cada vez mais no seu processo principal e compartilhar a cadeia logística com agentes logísticos. Para isso, veem uma necessidade dos agentes se desenvolverem mais de forma a amadurecer o processo de confiabilidade e rastreabilidade dentro da cadeia logística.

Existem transportadoras que realizam estudos com compartilhamento de cargas, mas não utilizam embalagem padronizada, agrupando a mercadoria por tipo de carga, sendo este um passo inicial em direção à implementação da PI. Dessa forma, alguns entrevistados afirmam que não há um desafio em relação à padronização da embalagem, sendo o desafio maior o de transição, ou seja, como organizar as instituições para garantir o funcionamento da rede.

Assim, é possível vislumbrar oportunidades e desafios relacionados às mudanças oriundas das redes logísticas abertas. Os entrevistados complementam que para a criação de uma rede sólida e multissetorial e a melhor utilização do transporte multimodal, é preciso restaurar e reabilitar as ferrovias no Brasil, e aumentar o investimento em portos (ações imprescindíveis para a evolução que se espera). Há também necessidade de praticar economia circular nas empresas e ações sustentáveis devem complementar as missões das mesmas.

Os entrevistados apresentaram preocupação com o desenvolvimento logístico das pequenas e médias empresas, observando que no Brasil há diversos panoramas de evolução logística, desde cargas transportadas em por animais a empresas utilizando RFID em seus produtos, percebendo um grande distanciamento entre elas. Neste contexto é preciso dar suporte para reduzir essa diferença tecnológica e cultural, esperando-se que as mudanças sejam acessíveis para dar oportunidades a todos os níveis da cadeia de suprimentos, tornando-a robusta e viável, eliminando desperdícios logísticos. Uma proposta de solução é a parceria com Startups e universidades pois estas são propulsoras de inventos e quebra de paradigmas.

Segundo os entrevistados os portos permanecerão tendo um papel importante no desenvolvimento logístico, precisando se modernizarem para não serem o gargalo dos novos processos e não ficarem para trás em termos de transporte internacional. É válido citar que os portos públicos brasileiros estão iniciando essa caminhada com iniciativas governamentais e os terminais privados saem na frente por conta de maior capital e menor burocracia, mas a passos lentos o público também tende a se modernizar.

Os entrevistados citam ainda a necessidade do apoio de agentes governamentais para uma evolução no sistema de transporte de cargas, pois esta prática no Brasil ainda está muito ligada aos protocolos e burocracia e assim, os protocolos governamentais deverão acompanhar

essa mudança estrutural dentro da cadeia. Investimentos na ciência para alcançar a almejada evolução é desejável.

A expectativa dos entrevistados é que as empresas de transporte e logística proponham serviços integrados, que tragam um diferencial para a indústria, elimine operações excedentes e aumente distribuição de seus produtos.

Diante de inúmeras visões elencadas pelos entrevistados pode-se resumir as principais oportunidades e desafios da implantação da PI no Brasil no Quadro 4.

Quadro 4- Oportunidades e desafios da implantação da PI no Brasil

Proposta PI	Desafios	Oportunidades
Contextualização	88% dos entrevistados não conheciam o tema	Fomentar o tema entre as empresas buscando abordagens colaborativas
Padronização de embalagens	Algumas embalagens atendem demanda conforme necessidade do cliente. Há também mix variado de produtos com necessidade de manuseio e embalagens diferenciadas.	Buscar otimização do transporte de carga, investimento em rastreabilidade dos produtos.
Compartilhamento de cargas	Nenhuma empresa realiza essa prática, utilizam transporte terceirizado.	Redução de despesas operacionais, compartilhando de forma eficiente os recursos de transporte e serviços logísticos.
Compartilhamento de infraestrutura	Nenhuma das empresas dos entrevistados tem projetos com expectativa de compartilhar infraestrutura. Consideram as instalações físicas das empresas como um diferencial estratégico nas suas operações.	Redução de despesas operacionais, compartilhando de forma eficiente os recursos estoque e consolidação de terminal.
Digitalização	Padronizar o envio de mercadorias e troca de dados com outras empresas.	Necessário desenvolver rastreabilidade e sistemas acessíveis
Colaboração horizontal	Poucas empresas praticam colaboração horizontal. Necessário mudança cultural.	Explorar as possibilidades de negócios com colaborações.

Segurança de dados	54% dos entrevistados alegam que deverá ser garantido que não ocorra falhas do servidor em um sistema de rede, para manter sigilo nas informações.	Desenvolver protocolos e definir processos junto ao governo.
Impactos esperados	21% dos entrevistados esperam o aumento da complexidade dos processos logísticos.	Empresas soluções logísticas operarem para amenizar esse impacto.

Fonte: Autor (2021)

O conceito de Internet Física (PI) está sendo difundido na comunidade logística e espera-se que ela se torne um elemento comum da vida cotidiana no futuro. Além disso, as cadeias de suprimentos físicas ficam muito para trás em relação às melhorias desejadas necessárias para cumprir as metas de sustentabilidade exigidas, indicando que algo precisa mudar.

5. CONCLUSÃO

Neste trabalho, buscando alcançar o objetivo geral, caracterizar o conceito de Internet Física bem como identificar oportunidades e dificuldades de implementação no cenário brasileiro, realizou-se uma revisão bibliográfica a fim de caracterizar o conceito de Internet Física identificando seus principais componentes; detalhou-se os principais componentes físicos, verificou-se na literatura as contribuições propostas e o marco de implantação da PI. Foi desenvolvido um questionário a ser respondido por representantes de empresas e operadores logísticos brasileiros a fim de investigar possíveis oportunidades e desafios da implementação de Internet Física nas cadeias logísticas onde estão inseridos. Por fim avaliaram-se os resultados da entrevista no intuito de investigar o grau de interesse dos respondentes em participar da Internet Física bem como oportunidades vislumbradas e desafios encontrados relacionadas às mudanças oriundas das redes logísticas abertas.

Esse trabalho do ponto de vista teórico ajuda suprir a lacuna de pesquisa sobre o tema “Internet Física” para sua posterior implementação por representantes de empresas e operadores logísticos brasileiros, auxiliando acadêmicos para novos trabalhos, identificando novas oportunidades de pesquisa. Já do ponto de vista prático auxilia os gestores a identificar temas relevantes da Internet Física e acompanhar o que os especialistas da área apontam como ponto importante e potenciais barreiras à implementação da PI.

Apesar desse trabalho trazer contribuições práticas e teóricas ele apresenta limitações, como por exemplo, insuficiente material bibliográfico disponível para expansão da caracterização do termo PI; como as entrevistas ocorreram com representantes de empresas na maioria de grande porte, não foram avaliadas pequenas e médias empresas, nem empresas prestadoras de serviço e clientes, fato a ser levado em conta na continuidade deste estudo.

O número de entrevistados também é um fator limitante da pesquisa, não abrangendo diferentes fatores contextuais das empresas, de diferentes portes, ramos de negócios e regiões. Assim, sugere-se a revisão e reaplicação do questionário às empresas, a fim de ampliar informações sobre dados de implementação da PI no Brasil, criando indicadores para direcionar esta implementação.

Diante do exposto, são sugeridos três direcionamentos de pesquisa para trabalhos futuros, sobre os seguintes temas: 1- Realizar uma nova entrevista estruturada com diferente contexto estrutural, indústria, empresa de serviço/comércios, de diferentes portes e avaliar se o contexto apresenta diferenças entre oportunidades e desafios oriundos das empresas; 2- Propor a análise de logística reversa para utilização do π -contêiner e, por fim, “3-Desenvolver indicadores para

analisar quais pontos evolutivos a logística brasileira precisa desenvolver para implementação da Internet Física”.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA Brasil; MÁXIMO, Wellton. **Comércio externo do Brasil recuou acima da média mundial em 2020.** 2021. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2021-05/comercio-externo-do-brasil-recuou-acima-da-media-mundial-em-2020>. Acesso em: 25 ago. 2021.
- BALLOT, B.; MONTREUIL, B.; MELLER, R. *The Physical Internet: The Network of Logistics Networks*. Paris: **La documentation Française**, 2014.
- BALLOT, Eric. **The Physical Internet: logistics of the future is just around the corner.** 2016. Paris Sciences and Lettres (PSL). Disponível em: <http://parisinnovationreview.com/articles-en/the-physical-internet-logistics-of-the-future-is-just-around-the-corner>. Acesso em: 15 ago. 2021.
- BRASIL. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Demografia das empresas.** In: *ECONÔMICA, Estudos e Pesquisas Informação*. 25. ed. Rio de Janeiro: Ibge, 2013. p. 1-132. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv94575.pdf>. Acesso em: 27 set. 2021.
- CHEN, Chao; PAN, Shenle; WANG, Zhu; ZHONG, Ray Y. Using taxis to collect citywide E-commerce reverse flows: a crowdsourcing solution. **International Journal of Production Research**, [S.L.], v. 55, n. 7, p. 1833-1844, 11 abr. 2016. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2016.1173258>.
- CRAINIC, Teodor Gabriel; MONTREUIL, Benoit. Physical Internet Enabled Hyperconnected City Logistics. **Transportation Research Procedia**, [S.L.], v. 12, p. 383-398, 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trpro.2016.02.074>.
- DEFINA, Denise Alessandra. **The role of Physical Internet on enabling sustainable multimodal logistics infrastructure: the case of sugar logistics in southeastern Brazil.** 2018. 159 f. Tese (Doutorado) - Curso de Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade Federal de São Paulo, Ribeirão Preto, 2018.
- DOMAŃSKI, Roman; ADAMCZAK, Michał; CYPLIK, Piotr. PHYSICAL INTERNET (PI): A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW. **Logforum**, [S.L.], v. 14, n. 1, p. 7-19, 30 mar. 2018. Wyższa Szkoła Logistyki (Poznan School of Logistics). DOI: 10.17270/J.LOG.2018.269
- DOMAŃSKI, Roman; ADAMCZAK, Michał; CYPLIK, Piotr. Physical internet (PI): a systematic literature review. **LogForum**, v. 14, n. 1, p. 7-9 2018. <http://dx.doi.org/10.17270/J.LOG.2018.269>
- DONG, Chuanwen; FRANKLIN, Rod. From the Digital Internet to the Physical Internet: a conceptual framework with a stylized network model. **Journal of Business Logistics**, [S.L.], v. 42, n. 1, p. 108-119, 15 set. 2020. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/jbl.12253>.
- ETP.PLATFORM, European Technology. **Research and Innovation Roadmaps.** 2021. Disponível em: http://www.etp-logistics.eu/?page_id=292, /. Acesso em: 10 ago. 2021
- FAZILI, Mehran; VENKATADRI, Uday; CYRUS, Pemberton; TAJBAKSH, Mahdi. Physical Internet, conventional and hybrid logistic systems: a routing optimisation-based

comparison using the eastern Canada road network case study. **International Journal of Production Research**, [S.L.], v. 55, n. 9, p. 2703-2730, 21 fev. 2017. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2017.1285075>.

FERGANI, C., EL BOUZEKRI El Idrissi A., HAJJAJ A.. Physical Internet Characterization. **2019 International Colloquium on Logistics And Supply Chain Management (Logistiqua)**, [S.L.], p. 1-7, jun. 2019. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/logistiqua.2019.8907244>.

HAKIMI, D.; MONTREUIL, B.; HAIJJI. A. Simulating Physical Internet Enabled Hyperconnected Semi-trailer Transportation Systems. In: **INTERNATIONAL PHYSICAL INTERNET CONFERENCE**, 2., Paris, France, 2015. Proceedings... Paris, Franca, 2015. https://www.researchgate.net/publication/265426687_Simulating_a_physical_internet_enabled_mobility_web_the_case_of_mass_distribution_in_France

HAKIMI, Driss. **From Network to Web Dimension in Supply Chain Management**. 2014. 270 f. Tese (Doutorado) - Curso de Administração, Université Laval, Québec, 2014.

IBM **O que é intercâmbio eletrônico de dados (EDI)?** 2021. Acesso em : 24 set. 2021 <https://www.ibm.com/br-pt/topics/edi-electronic-data-interchange>

KAUARK, Fabiana da Silva; MANHÃES, Fernanda Castro; MEDEIROS, Carlos Henrique. **Metodologia da pesquisa: um guia prático**. 2010.

LANDSCHÜTZER, Christian; EHRENTAUT, Florian; JODIN, Dirk. Containers for the Physical Internet: requirements and engineering design related to fmcg logistics. **Logistics Research**, [S.L.], v. 8, n. 1, p. 1-22, 29 out. 2015. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s12159-015-0126-3>.

LEMMENS, Nina; GIJSBRECHTS, Joren; BOUTE, Robert. Synchromodality in the Physical Internet – dual sourcing and real-time switching between transport modes. **European Transport Research Review**, [S.L.], v. 11, n. 1, p. 1-10, 2 abr. 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1186/s12544-019-0357-5>.

LIN, Yen-Hung; MELLER, Russell D.; ELLIS, Kimberly P.; THOMAS, Lisa M.; LOMBARDI, Barbara J. A decomposition-based approach for the selection of standardized modular containers. **International Journal of Production Research**, [S.L.], v. 52, n. 15, p. 4660-4672, 27 fev. 2014. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2014.883468>

MARCOTTE S., B. MONTREUIL & L.C. Coelho. Modeling of Physical Internet Enabled Hyperconnected Modular Production, **2nd International Physical Internet Conference**, Paris, França, junho 2015., p13

MARINO, F. Seitanidis I. Dao Viet P., Bocchino S., Castoldi P., Salvadori C.. IoT enabling PI: towards hyperconnected and interoperable smart containers. In: **Proceedings of 6th International Physical Internet Conference 2019**. 2019. p. 349-362. <https://www.iconetproject.eu/wp-content/uploads/2019/08/IPIC2019-Final.pdf>

MANZATO, Antonio José; SANTOS, Adriana Barbosa. **A elaboração de questionários na pesquisa quantitativa**. Departamento de Ciência de Computação e Estatística–IBILCE–UNESP, p. 1-17, 2012.

McKinnon, A., Browne, M., Whiteing, A. & Piecyk, M., Green Logistics: Improving the Environmental Sustainability of Logistics, **Kogan Page**. Londres, p 426., 2015.

MELLER, Russell D.; MONTREUIL, Benoit; THIVIERGE, Collin; MONTREUIL, Zachary. Functional Design of Physical Internet Facilities: A Road-based Crossdocking Hub. In: 12TH IMHRC, 12., 2012, Gardanne, France. **Proceedings [...]** .Georgia . Georgia Southern University 2012. https://digitalcommons.georgiasouthern.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1041&context=pmhr_2012.

MERVIS, Jeffrey. The information highway gets physical. **Science**, Si, v. 344, n. 1, p. 1104-1107, 6 jul. 2014.

MONTREUIL B., BALLOT, E., iY, W. Modular Design of Physical Internet Transport, Handling and Packaging Containers, **Progress in Material Handling Research** Vol. 13, Ed. J. Smith et al., MHI, Charlotte, NC, USA, 2016.

MONTREUIL, B.; BALLOT, E.; FONTANE, F. An Open Logistics Interconnection model for the Physical Internet. **Ifac Proceedings Volumes**, [S.L.], v. 45, n. 6, p. 327-332, maio 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.3182/20120523-3-ro-2023.00385>.

MONTREUIL, Benoit. Toward a Physical Internet: meeting the global logistics sustainability grand challenge. **Logistics Research**, [S.L.], v. 3, n. 2-3, p. 71-87, 12 fev. 2011. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s12159-011-0045-x>.

MONTREUIL, Benoit; MELLER, Russell D.; BALLOT, Eric. Physical Internet Foundations. **Service Orientation in Holonic and Multi Agent Manufacturing And Robotics**, [S.L.], p. 151-166, 2013. Springer Berlin Heidelberg. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-35852-4_10.

MONTREUIL, Benoit; MELLER, Russell D.; BALLOT, Eric. Physical Internet Foundations. **Ifac Proceedings Volumes**, [S.L.], v. 45, n. 6, p. 26-30, maio 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.3182/20120523-3-ro-2023.00444>.

MONTREUIL, Benoit; MELLER, Russell D.; BALLOT, Eric. Towards a Physical Internet: the Impact on Logistics Facilities and Material Handling Systems Design and Innovation. In: IMHRC PROCEEDINGS, 11., 2010, Milwaukee Wisconsin. Usa. **Proceedings [...]** . Georgia: Georgia Southern University p. 305-327. https://digitalcommons.georgiasouthern.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1039&context=pmhr_2010

MONTREUIL, Benoit; ROUGÈS, Jean-François; CIMON, Yan; POULIN, Diane. The Physical Internet and Business Model Innovation. **Technology Innovation Management Review**, [S.L.], v. 2, n. 6, p. 32-37, 18 jun. 2012. Carleton University. <http://dx.doi.org/10.22215/timreview/566>.

OKTAEI, Parnian; LEHOUX, Nadia; MONTREUIL, Benoit. Designing business models for Physical Internet transit centers. In: Proceedings of 1st International Physical Internet Conference, Québec, Canada. 2014.p1-149
<https://corpus.ulaval.ca/jspui/bitstream/20.500.11794/26411/1/32082.pdf>

PAN, Shenle; BALLOT, Eric; HUANG, George Q.; MONTREUIL, Benoit. Physical Internet and interconnected logistics services: research and applications. **International Journal of Production Research**, [S.L.], v. 55, n. 9, p. 2603-2609, 4 abr. 2017. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2017.1302620>

PAN, Shenle; TRENTESAUX, Damien; MCFARLANE, Duncan; MONTREUIL, Benoit; BALLOT, Eric; HUANG, George Q.. Digital interoperability in logistics and supply chain management: state-of-the-art and research avenues towards physical internet. **Computers in Industry**, [S.L.], v. 128, p. 103435, jun. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compind.2021.103435>.

PAN, Shenle; TRENTESAUX, Damien; MCFARLANE, Duncan; MONTREUIL, Benoit; BALLOT, Eric; HUANG, George Q.. Digital interoperability in logistics and supply chain management: state-of-the-art and research avenues towards physical internet. **Computers in Industry**, [S.L.], v. 128, p. 103435, jun. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compind.2021.103435>.

PLASCH, Michael; PFOSER, Sarah; GERSCHBERGER, Markus; GATTRINGER, Regina; SCHAUER, Oliver. Why Collaborate in a Physical Internet Network? Motives and Success Factors. **Journal of Business Logistics**, [S.L.], v. 42, n. 1, p. 120-143, 27 out. 2020. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/jbl.12260>.

QIAO, Bin; PAN, Shenle; BALLOT, Eric. Dynamic pricing model for less-than-truckload carriers in the Physical Internet. **Journal of Intelligent Manufacturing**, [S.L.], v. 30, n. 7, p. 2631-2643, 9 dez. 2016. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10845-016-1289-8>.

SARRAJ, Rochdi; BALLOT, Eric; PAN, Shenle; HAKIMI, Driss; MONTREUIL, Benoit. Interconnected logistic networks and protocols: simulation-based efficiency assessment. **International Journal of Production Research**, [S.L.], v. 52, n. 11, p. 3185-3208, 9 dez. 2013. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2013.865853>.

SARRAJ, Rochdi; BALLOT, Eric; PAN, Shenle; MONTREUIL, Benoit. Analogies between Internet network and logistics service networks: challenges involved in the interconnection. **Journal of Intelligent Manufacturing**, [S.L.], v. 25, n. 6, p. 1207-1219, 30 set. 2012. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10845-012-0697-7>.

SILVESTRE, Bruno S. Sustainable supply chain management in emerging economies: environmental turbulence, institutional voids and sustainability trajectories. **International Journal of Production Economics**, [S.L.], v. 167, p. 156-169, set. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.05.025>.

SIMMER, L.; PFOSER, S.; GRABNER, M.; SCHAUER, O.; PUTZ, L.M.. From horizontal collaboration to the physical internet – A case study from Austria. **International Journal Transport Development and Integration**, [S.L.], v. 1, n. 2, p. 129-136, 15 jan. 2017. WITPRESS LTD. <http://dx.doi.org/10.2495/tdi-v1-n2-129-136>.

STERNBERG, Henrik; NORRMAN, Andreas. The Physical Internet – review, analysis and future research agenda. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, [S.L.], v. 47, n. 8, p. 736-762, 4 set. 2017. Emerald. <http://dx.doi.org/10.1108/ijpdlm-12-2016-0353>.

TRANSPORTE, Cnt-Confederação Nacional de. **Transportes em Números**. 2019. Disponível em: <https://cdn.cnt.org.br/diretorioVirtualPrd/39b6d11e-7996-4c2b-8894-6cf4e927f1cc.pdf>. Acesso em: 26 ago. 2021.

TREIBLMAIER, Horst; MIRKOVSKI, Kristijan; LOWRY, Paul Benjamin. Conceptualizing the physical internet: literature review, implications and directions for future research. In: **11th CSCMP Annual European Research Seminar**, Vienna, Austria, 12 maio. 2016. <https://ssrn.com/abstract=2861409>

TREIBLMAIER, Horst; MIRKOVSKI, Kristijan; LOWRY, Paul Benjamin; ZACHARIA, Zach G.. The physical internet as a new supply chain paradigm: a systematic literature review and a comprehensive framework. **The International Journal of Logistics Management**, [S.L.], v. 31, n. 2, p. 239-287, 15 maio 2020. Emerald. <http://dx.doi.org/10.1108/ijlm-11-2018-0284>.

YIN, Robert K. **Pesquisa qualitativa do início ao fim**. Penso Editora, 2016.

APÊNDICE A – Questionário aplicado durante as Entrevistas

O propósito da realização de entrevista com possíveis agentes da Internet Física (indústrias, transportadoras, operadores logísticos) é a caracterização e disseminação dos conceitos da Internet Física além de verificar o que os mesmos vislumbram a respeito deste tema. O estudo explora as opiniões, experiências, crenças e motivações dos prestadores de serviços no contexto da Internet Física, para contribuir com os primeiros passos em direção à implementação da Internet Física no Brasil.

Identificação

Entrevistado:

Empresa:

Ramo da empresa:

Local de instalação da empresa:

Setor da empresa que o entrevistado atua:

Cargo:

Frota própria ou terceirizada:

Quantos centros de distribuição a empresa possui?

A empresa realiza exportações?

A empresa realiza importações?

São dependentes do transporte multimodal?

Sobre conceito

1) Você já estava familiarizado com o termo Internet Física, seria capaz de defini-las?

Sobre padronização de embalagens

2) A empresa possui algum trabalho específico em relação à otimização de embalagens, ou modo de envio de carga?

Sobre o compartilhamento de cargas

3) Empresa possui algum projeto que busca melhorias adicionais na distribuição de produtos, como redução de frete, redução do tempo de entrega, distribuição ampla de mercadorias? Se sim, esse projeto envolve compartilhamento de cargas?

Sobre a digitalização

4) Trabalham com etiquetas inteligentes?

5) Possui algum processo que envolve identificação, rastreamento de produtos?

6) Quais os maiores desafios futuros das empresas no que diz respeito à digitalização?

- A) Digitalização externa, criar interfaces com os clientes;
- B) Investimento de processamento de dados;
- C) Padronização de envio de mercadoria;
- D) Troca de dados com outras empresas;
- C) As mudanças nos perfis profissionais;
- F) Necessidade de constante atualização das tecnologias;
- D) Outro. Qual?

Sobre compartilhamento de infraestrutura

- 7) Como na Internet Física o papel dos armazéns e centros de distribuição mudará para centros abertos, que recebem e fazem o *cross dock* de contêineres de outras empresas, deve ocorrer a abertura de sua infraestrutura para outros prestadores de serviços. Imaginam compartilhar a infraestrutura?
- 8) Os centros serão operados por um parceiro neutro/independente, nada ou pouco envolvido na indústria. Consideram importante que o armazém ou o centro de distribuição seja 100% neutro e independente?

Sobre colaborações horizontais

- 9) A empresa realiza colaboração horizontal?
- A) Nenhuma.
 - B) Pouca ou limitada experiência com colaborações horizontais.
 - C) Membros de cooperativas.
 - D) Tem experiência com muitas parcerias.
- 10) Sobre a cooperação com concorrentes (que atuam exatamente no mesmo ramo de negócios e na mesma região), o que acham?

Sobre segurança de dados

- 11) Como as abordagens colaborativas levam a um compartilhamento mais aberto de dados entre os parceiros da cadeia de suprimentos, sobre questões de segurança em termos de fluxos de dados e informações relacionados à infraestrutura compartilhada, como considera a importância da proteção de dados e privacidade?
- 12) Para compartilhamento de dados a empresa onde você atua afirmaria que:
- A) É absolutamente inconcebível porque os dados devem permanecer "internos".
 - B) A segurança dos dados deve ser garantida, mas como é necessário colocar os dados à disposição dos trabalhadores, a proteção dos dados é difícil.
 - C) Deverá ser garantido que não ocorra falhas do servidor em um sistema de rede.
 - D) Outro. Qual seria o posicionamento?

Sobre expectativas futuras

13) A empresa onde você atua possui projetos nos seguintes temas?

- A) Big data;
- B) Internet das coisas;
- C) Impressão 3d;
- D) Indústria 4.0;
- E) Outros. Cite.

14) Selecione 03 pontos que considera mais impactante no processo de implantação da Internet Física?

- A) Melhor utilização das instalações de armazenamento.
- B) Melhor utilização dos transportes.
- C) Custos associados.
- D) Redução de CO₂.
- E) Um aumento da complexidade dos processos logísticos.
- F) Recrutamento de pessoal qualificado.
- G) Transparência e protocolos do processo.
- H) Integração do agente de carga no processo de vendas e planejamento de demanda dos produtores.
- J) Outros. Cite.

15) Modelos de negócios futuros de operadores logísticos são definidos pelas necessidades do cliente, pelos próprios objetivos dos despachantes, bem como pelo ambiente, que é caracterizado pela complexidade, integração, cooperação, digitalização e sustentabilidade. Qual sua visão sobre o papel e desenvolvimento tecnológico das empresas de transporte e logística, qual nível de importância ela terá na cadeia de suprimentos futuramente?