



SIMPROFI

Simposio dos Programas
de Mestrado Profissional
26 e 27 de outubro de 2022

**EDUCAÇÃO, TRABALHO
E PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL**



Logística de última milha para otimização de viagens no METRÔ de São Paulo

Marco Antonio Rosatti Filho¹, Alexandre Formigoni²

Resumo - A sustentabilidade do transporte público de passageiros depende principalmente das receitas de tarifa e subsídios governamentais, mas poderia também ser suprida pela remuneração de distribuição de cargas, além de aliviar impactos ambientais provocados pela falta de integração operacional e modal de cargas e passageiros. O Metrô de São Paulo possui ociosidade de ocupação de viagens de passageiros que podem ser otimizadas em função de receitas, ao integrar a distribuição de mercadorias. Este trabalho quantifica esta superprodução de viagens em termos monetários e busca na literatura um modelo de operacionalização da logística de última milha para comércio eletrônico na infraestrutura metroviária. Ao final foi obtida uma análise de fatores operacionais que sofrem impacto com a operação integrada, demandando, portanto, de adaptações dos elementos convencionais de logística. Também é apresentado uma proposta de fluxos funcionais e uma coletânea de dados, para subsidiar a construção de um modelo operacional adaptado a uma linha do Metrô de São Paulo, demandando para constituir-lo: um depósito do Metrô, pontos de coleta e entrega nas estações e trens compartilhados para o transporte de passageiros e cargas.

Palavras-chave: METRÔ; logística; última milha; otimização; *lean*.

Abstract - The sustainability of public passenger transport depends mainly on revenue from fares and government subsidies, but could also be supplied by remuneration for cargo distribution, in addition to alleviating environmental impacts caused by the lack of operational and modal integration of cargo and passengers. The São Paulo Metrô has idle passenger travel occupancy that can be optimized in terms of revenue, by integrating the distribution of goods. This work quantifies this overproduction of travel in monetary terms and searches the literature for a model of operationalization of last mile logistics for e-commerce in the subway infrastructure. At the end, an analysis of operational factors that are impacted by the integrated operation was obtained, demanding, therefore, adaptations of the conventional elements of logistics. A proposal for functional flows and a collection of data are also presented, to support the construction of an operational model adapted to a São Paulo Metro line, requiring to constitute it: a Metro depot, collection and delivery points at stations and shared trains for the transport of passengers and cargo.

Keywords: METRO; logistics; last mile; optimization; *lean*.

¹Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos – CEETEPS; eng.rosatti@gmail.com

²Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos – CEETEPS; a_formigoni@yahoo.com.br

1 Introdução

Os centros urbanos vivenciam um crescimento constante no tráfego de mercadorias e passageiros. No entanto, devido à falta de espaço e restrições ambientais, existem restrições significativas no desenvolvimento da infraestrutura necessária para lidar com esse crescimento (EUROPEAN COMMISSION, 2007).

A mobilidade urbana de passageiros e cargas enfrentam uma série de desafios, em função de urbanização, cenário complexo de interação com partes interessadas, o crescimento do comércio eletrônico e fragmentação de modos e agentes envolvidos no transporte de carga (BRUZZONE; CAVALLARO; NOCERA, 2021).

Os sistemas de transporte de passageiros brasileiro são majoritariamente dependentes da arrecadação tarifária de remuneração pela prestação do serviço (BRUM, 2021). A receita do operador de transporte público de passageiros é composta pela soma de: tarifa pública, definida pela Política Nacional de Mobilidade Urbana do BRASIL (2012) como “o preço público cobrado do usuário, instituída por ato específico do poder público outorgante”; das receitas oriundas de outras fontes de custeio, como subsídios governamentais ou receitas não tarifárias; e da remuneração do prestador, em contratos de concessão privada, com fixação de tarifas diferenciadas e reajustes periódicos.

Na cidade de São Paulo o sistema de transporte metroviário conta com duas operadoras privadas em regime de concessão, a Via Quatro e Via Mobilidade (STM/SP, 2022), e uma operadora vinculada à gestão pública indireta, a Companhia do Metropolitano de São Paulo - METRÔ. A remuneração do METRÔ, indica maior dependência de subsídio governamental em comparação com as operadoras privadas, em função da menor receita por passageiro obtida na partilha da tarifa de remuneração do prestador, como no exemplo do período de 2014 a 2019: R\$ 1,95 ao METRÔ estatal e R\$ 2,43 à Via Quatro privada (BRUM, 2021).

Uma medida corporativa adotada pelo METRÔ em seu planejamento estratégico, busca o aumento de receitas não tarifárias que possam contribuir com o custeio da operação do modal, bem como de suas áreas de suporte e de desenvolvimento de novos projetos para a expansão da rede (METRÔ, 2021).

Em função desta visão estratégica uma oportunidade se destaca entre as possibilidades de empreendimentos possíveis, capazes de gerar receitas operacionais e não tarifárias, e reside na otimização da geração de receitas, com a infraestrutura e a operação já em funcionamento, mas que possui sazonalidade de ocupação das viagens com passageiros. Utilizando-se do fluxo contínuo já estabelecido para transporte de passageiros, identifica-se a possibilidade de também realizar o deslocamento de mercadorias, da última milha nas entregas do comércio eletrônico (ROSATTI FILHO, 2021).

Este trabalho busca descrever uma alternativa de operação integrada entre os serviços de transporte de passageiros e de mercadorias, adaptados às restrições operacionais que ambos demandam. Fundamenta-se no contexto teórico de desperdício, do Sistema Toyota de Produção, para uma análise sobre a ociosidade sazonal do transporte metroviário de passageiros e seu impacto na obtenção de receitas, tendo também assumido como premissa o cenário de falta de racionalização global de transportes na distribuição de mercadorias do

comércio eletrônico e os princípios do *Lean Thinking* e da literatura recente dedicada à oportunidade do serviço em pauta.

O desperdício de superprodução na oferta de viagens a passageiros no METRÔ é característica intrínseca e não contornável em termos de alocação de demanda, pois há um comportamento social compulsório de uso pelos passageiros que requer deslocamentos focados em ir e vir de seus compromissos diários, tendo convencionado o horário comercial de estudo e trabalho majoritariamente por volta de de 8h00 e 17h00, portanto gerando acúmulo de viagens nos períodos de início e término desses compromissos.

Já a falta de racionalização global para entregas de mercadorias transacionadas no comércio eletrônico, provoca desperdício de transporte, pois cada agente desse mercado promove seu próprio regime logístico de distribuição, o que provoca obrigatoriamente sobreposição de deslocamentos em todas as regiões da cidade para atender as entregas aos consumidores.

Este trabalho se dedica a verificar o desperdício na oferta de viagens do METRÔ e identificar uma possibilidade de melhoria para otimização da ociosidade e geração de receitas.

Como objetivos específicos o trabalho busca:

- a) Mensurar a capacidade ociosa do METRÔ.
- b) Estimar o custo de oportunidade da ociosidade identificada.
- c) Avaliar oportunidade de um novo serviço, otimizador da capacidade ociosa, para obtenção de receita não tarifária.

2 Referencial Teórico

A abordagem de otimização de receitas do sistema metroviário de transporte foi orientada pela fundamentação do Sistema Toyota de Produção (STP) e do *Lean Thinking*, seguida pela caracterização do sistema de transporte metroviário de São Paulo e uma referência de serviço otimizador proposta para operação no metrô de Madri, na Espanha.

2.1 Sistema Toyota de Produção e Lean Thinking

Ohno (1997) considera a capacidade de um sistema produtivo, a soma entre o trabalho realmente necessário e os desperdícios, portanto somente seria alcançada a eficiência plena eliminando-se os desperdícios. A redução gradual de desperdícios, identificada como mecanismo de promoção da melhoria contínua, é orientada segundo a natureza de desperdício em sete conjuntos: superprodução, defeitos, espera, transporte, processamento, estoque disponível e movimento.

Assim, Hines e Taylor (2000) descrevem que o desperdício com superprodução consiste em produzir além da demanda ou muito antecipado, tendo como consequência um mau fluxo de informações ou bens, e estoque excessivo de bens ou oferta não consumida, no caso de serviços. O desperdício com defeitos se caracteriza quando ocorrem erros frequentes na documentação, questões de qualidade do produto ou de baixo desempenho na entrega. Longos períodos de inatividade de pessoas, informação ou bens são fontes de desperdício com espera, causando lentidão na produção e longos prazos de entrega. Excesso de movimentação de pessoas, informação ou bens que

provocam perda de tempo, esforço e custos são formas de desperdício com transporte. Processamento inadequado é uma forma de desperdício provocada por utilização de ferramentas inapropriadas, procedimentos ou sistemas, quando existe abordagem capaz de ser mais eficaz. Desperdício com estoque ocorre com armazenamento em excesso e atraso de entrega de produtos e informações, provocando custo excessivo e penalizando o atendimento ao cliente. Já a movimentação desnecessária causa desperdício devido à má organização do local de trabalho, arranjo físico inadequado, deficiência ergonômica com flexão ou alongamento excessivo e perda frequente de itens.

Uma oitava natureza de desperdício identificada consiste em não aproveitar o conhecimento, talento e criatividade dos funcionários de uma organização. Portanto um desperdício de pessoas, por não envolvê-las nos processos em busca de melhorias ou aprendizados (LIKER, 2021).

O termo *Lean* (enxuto em português) foi usado pela primeira vez por Jonh Krafcik, engenheiro de qualidade que desenvolveu sua linha de pesquisa ao trabalhar em uma unidade automotiva da Toyota na Califórnia (EUA). A base de sua pesquisa culminou na obra "*The Machine That Changed The World*" com os princípios da produção enxuta (WOLF, 1991).

Hines e Taylor (2000) explicam que a aplicação do *Lean Thinking* possui cinco princípios: criar valor para o cliente, ou seja, especificar o que gera e o que não gera valor para o cliente no processo produtivo, sob a perspectiva deste e não baseando-se na perspectiva funcional da empresa e seus departamentos; mapear o fluxo de valor: mapear todos os estágios requeridos para a produção e entrega do serviço ou produto, em todo o fluxo de agregação de valor a fim de identificar os processos que geram desperdícios; criar fluxo contínuo para que os processos de geração de valor sejam sem interrupções, desvios, retrocessos, espera ou descartes; promover a produção puxada: realizar exclusivamente o que é requerido (puxado) pelo cliente ou processo consumidor, em vez de criar grandes estoques; e buscar a perfeição por meio de redução gradual de camadas de desperdício sempre que forem descobertos, de modo a promover a melhoria contínua.

2.3 Transporte metroviário na cidade de São Paulo

O modal de transporte metroviário em operação na cidade de São Paulo possui 6 linhas interligadas compondo uma malha com 104,4 km de extensão e 91 estações com volume de passageiros alcançando mais de 5 milhões por dia, com ao menos 1 pátio de manutenção dedicado a cada linha, também conectada à rede metropolitana de trens urbanos e ao modal rodoviário de ônibus em terminais de transbordo (METRÔ, 2021).

As operadoras de metrô contam com frotas de trens compostas de 6 carros com 4 portas de cada lado cada um, operando sobre trilhos nas linhas: 1 - azul, 2 - verde, 3 - vermelha, 4 - amarela e 5 - lilás. E um monotrilho que tem composições de 4 carros com 2 portas de cada lado, operando sobre pneus na linha 15 - prata, conforme ilustram as Figuras 1 e 2.



Figura 1 – Mapa do transporte metropolitano (São Paulo).
Fonte: Extraído de METRÔ (2021).

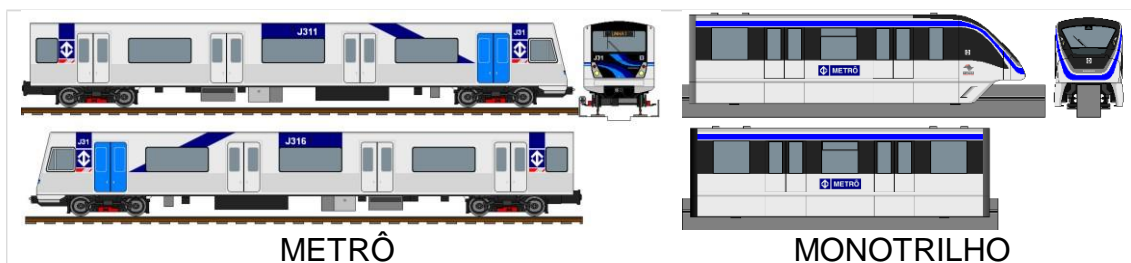


Figura 2 - Modelos de carro de metrô e monotrilho de São Paulo.
Fonte: Adaptado de Stippe (2018).

Atendendo a alta demanda de passageiros e afim de garantir a qualidade dos serviços, cada linha é controlada em função das variáveis de premissa como lotação (caso a estação se encontre em região de fluxo elevado de passageiros), recursos disponíveis (tamanho de frota circulante e a tecnologia de sinalização) e demanda horária de cada linha, para ajustar o intervalo entre trens disponibilizados para o passageiro na plataforma (AEAMESP, 2017). Segundo o (METRÔ, 2022b), em março de 2022, os intervalos mínimos entre trens em cada linha são detalhados na Tabela 1.

Tabela 1 – Intervalos mínimos entre trens (janeiro/2022 a março/2022).

Linha 1 - Azul	Linha 2 - Verde	Linha 3 - Vermelha	Linha 15 - Prata
120s	134s	119s	196s

Fonte: (METRÔ, 2022b).

Neste modal, assim como em outros sistemas de transporte público urbanos, o fluxo de passageiros varia durante um dia útil de uma forma bem típica, alcançando níveis máximos de ocupação em dois períodos denominados de **pico**: normalmente entre 6h00 e 9h00 - pico da manhã - e entre 16h00 e 20h00 - pico da tarde (TEIXEIRA et al., 2014).

Já nos demais períodos do dia, com a demanda retraída se convencionou a denominação de **vale** conforme é possível visualizar na Figura 3.

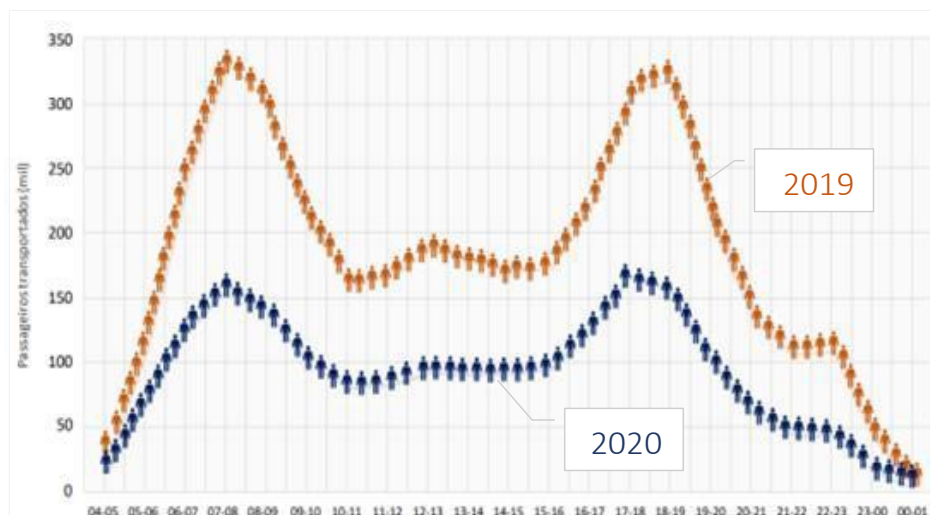


FIGURA 3 – Demanda média de passageiros em dia útil.

Fonte: Adaptado de Rosatti Filho (2021).

Desse modo, fica evidente que qualquer que seja a demanda máxima atendida pelo sistema haverá períodos de ociosidade em função do comportamento de demanda, a despeito do número de viagens ofertadas.

2.4 Modelo de operação logística baseada em METRÔ

Um estudo elaborado para a implantação de um serviço de distribuição logística de encomendas do comércio eletrônico na última milha, foi identificado com características capazes de serem adaptadas para implementação na infraestrutura operada pela Companhia do METRÔ em São Paulo.

Villa e Monzon (2021) avaliaram custo e impactos de dois modelos de operação como alternativa ao estabelecido para a entrega do comércio eletrônico, gerenciando espaço não utilizado no material rodante, usando trens compartilhados com passageiros ou atendimento com trens dedicados à operação de cargas conforme detalha a Tabela 2.

Tabela 2 – Alternativas do modelo.

Alternativa	Características	Modo de transporte	Local de entrega
Cenário de Referência	Entrega de encomendas de e-commerce atual	Veículos leves de carga	Casa
Alternativa 1	Trens compartilhados para entrega nas estações das linhas com maior demanda	Veículos pesados de carga + trens compartilhados	Estação (armário de encomendas)
Alternativa 2	Trens compartilhados para entrega nas estações das linhas com maior demanda	Veículos pesados de carga + trens dedicados	Estação (armário de encomendas)

Fonte: Adaptado de Villa e Monzon (2021).

Neste estudo também propuseram os processos operacionais, da Figura 4, para o cenário de Madri, Espanha, buscando avaliar qual nível de demanda de encomendas seria necessário para que a rede de metrô pudesse ser considerada viável como operador logístico urbano, quais adaptações seriam necessárias na infraestrutura e nos trens para viabilizar o modelo e que benefícios ambientais, sociais e econômicos seriam alcançados.



Figura 4 – Modelo de entrega urbana baseado em metrô.

Fonte: Extraído de Villa e Monzon (2021).

- Um consumidor, residente lindeiro ou viajante do metrô, realiza uma compra on-line (*Online purchase*) e escolhe a opção de entrega em um armário inteligente (*smart locker*) em uma estação.
- O pedido é processado e preparado no centro de atendimento eletrônico (*E-fulfillment center*) e os carros de unitização são consolidados por endereço de estação.
- Os recipientes são transportados via modal rodoviário para o depósito do metrô (*Metro Depot*) selecionado, para serem embarcados nos trens.
- Os trens transportam as encomendas que serão depositadas nos armários inteligentes localizados nas estações (*Metro Stations*).
- E finalmente o viajante ou residente recolhe a encomenda no *smart locker* da estação que escolheu.

E as restrições para implementação dos modelos consideraram os fatores operacionais da Figura 5 e da Tabela 3.

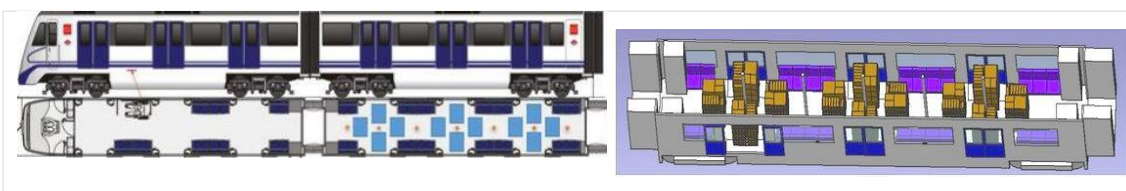



Figura 5 – Exemplo de trem carregado com carrinhos de contêineres.



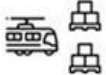

Fonte: Extraído de Villa e Monzon (2021).

Tabela 3 – Fatores operacionais do modelo proposto.

	Definição	Características	Valor Adotado
Tipo de trem 	Com base nas linhas com maior demanda de encomendas, o tipo de trem que circula nelas será diferente. Cada um desses trens possui um desenho interno específico e, portanto, uma capacidade de transporte de encomendas diferente.	Capacidade interna superior	12–16 carrinhos de contêineres grandes
		Capacidade interna inferior	12–18 carrinhos de contêineres médios

Continua.

Tabela 3 – Fatores operacionais do modelo proposto.

 <p>Tamanho do recipiente</p>	<p>Devido à sua facilidade de utilização e capacidade, o carrinho de contêineres é o meio de transporte de encomendas nas composições. O tamanho mais adequado do carrinho de contêineres é selecionado com base na capacidade interna do trem.</p>	<p>Carrinho de contêineres grande</p> <p>Carrinho de contêineres médio</p>	<p>1,2 × 0,8 × 1,8 (40 encomendas)</p> <p>0,8 × 0,7 × 1,8 (25 encomendas)</p>
 <p>Operação do trem</p>	<p>Trens compartilhados: sem alterar a frequência de transporte de viajantes e uma parte do trem é usada para fornecer serviços de logística.</p> <p>Trens dedicados: os trens são usados apenas para o transporte de encomendas. Esses trens não ficam disponíveis para viajantes e têm horários diferentes.</p>	<p>Trem compartilhado</p> <p>Trem dedicado</p>	<p>Carregamento prévio no depósito</p> <p>Transporte realizado em horário fora de pico</p>
 <p>Tempo para descarregar</p>	<p>Tempo necessário para descarregar carrinhos de contêineres em cada estação.</p>	<p>Trem compartilhado</p> <p>Trem dedicado</p>	<p>Mesmo tempo disponível ao viajante</p> <p>Baseado no número carrinhos de contêineres</p>
 <p>Tamanho das encomendas e armários</p>	<p>Armários médios = 40 pacotes.</p> <p>Armários grandes = 80 pacotes.</p>	<p>Pacote pequeno</p> <p>Pacote médio</p> <p>Pacote grande</p> <p>Pacote especial</p>	<p>LWH = (0,09, 0,34, 0,3)</p> <p>LWH = (0,2, 0,4, 0,3)</p> <p>LWH = (0,4, 0,4, 0,4)</p> <p>LWH = (0,6, 0,6, 0,3)</p>

Fonte: Adaptado de Villa e Monzon (2021).

Entre os resultados, foi identificado que a demanda de remessas no comércio eletrônico é suficiente para viabilizar os modelos propostos e podem até superar a capacidade de atendimento dos pontos de entrega em armários nas estações, que há redução de custos operacionais obtida por meio do compartilhamento do trem com passageiros para transporte de mercadorias, (destacado como fator chave para tornar atrativo aos operadores logísticos do comércio eletrônico substituírem o modelo de distribuição com veículos leves de carga entregando ponto a ponto) e por fim que pode reduzir significativamente os custos de externalidades com congestionamento, acidentes, ruído, emissões de gases do efeito estufa e poluição do ar.

3 Método

A abordagem adotada foi uma análise quali-quantitativa exploratória com avaliação de documentos e referências bibliográficas, seguida de uma proposição de processos operacionais que demonstre as funções críticas de um novo serviço, atendendo aos aspectos operacionais da Companhia do Metropolitano de São Paulo - METRÔ. Na Figura 6 o diagrama ilustra os procedimentos metodológicos adotados neste trabalho.

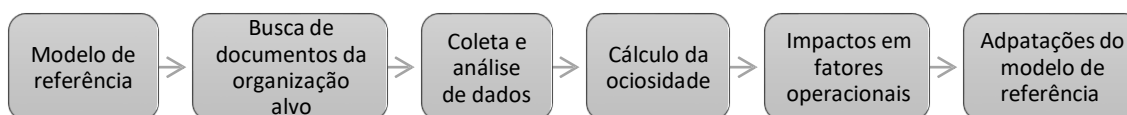


Figura 6 – Etapas do método de pesquisa.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A fundamentação teórica além das premissas conceituais do Sistema Toyota de Produção e do *Lean Thinking*, apresenta o cenário operacional das

linhas de metrô da cidade de São Paulo e então resgata da literatura recente um modelo de referência que atende o objetivo de pesquisa.

Na análise documental do sistema de transporte metroferroviário foram coletados no demonstrativo financeiros de resultado do exercício (DRE) da Companhia do Metropolitano de São Paulo – METRÔ, os dados de receitas com tarifas e ressarcimento por gratuidades do transporte de passageiros. Os dados de fluxo total de passageiros transportados referentes aos períodos de janeiro, fevereiro e março de 2022, foram coletados no portal da transparência (METRÔ, 2022a), já a obtenção do fluxo horário médio de passageiros em dia útil, dos mesmos meses, foi obtida por solicitação direta à Coordenadoria de Estudos Estatísticos e Informações Estratégicas – CTE, integrante da Diretoria de Operações da companhia (METRÔ, 2022c).

A partir dos dados coletados, foi construído o perfil de fluxo médio de passageiros em dia útil, verificado em março de 2022. Neste perfil o pico foi adotado como o maior nível de capacidade possível de ser captada pela operação de transporte de passageiros, no contexto histórico de demanda e infraestrutura instalada. Foi então inferido em um histograma com a distribuição horária da média de viagens em dia útil, uma prospecção de viagens não realizadas que poderiam ser remuneradas por um serviço otimizador, demonstrando a capacidade ociosa total do sistema.

O valor de receita média arrecadado por passageiro transportado no primeiro trimestre de 2022, foi obtido pela razão entre a soma de receita tarifária e ressarcimentos de gratuidades, e o total de passageiros transportados no período. Na sequência foi possível estimar, por meio do produto da receita média por passageiro e o volume de viagens não realizadas nos períodos de vale, a receita média diária total com potencial de ser captada aproveitando a capacidade ociosa.

Com base na experiência profissional do autor, empregado da Companhia do METRÔ de São Paulo, e em documentos e dados observáveis na infraestrutura física disponível ao público, foram identificados fatores operacionais que poderiam sofrer interferências e impactar em um serviço de distribuição de cargas, para pontuar condições de adaptação em relação ao modelo de serviço proposto já destacado no referencial teórico.

Por fim foram propostos os aspectos operacionais e processos para um sistema logístico de distribuição de encomendas do comércio eletrônico baseado na infraestrutura e nas restrições de operação do sistema metroviário da Companhia do METRÔ em São Paulo.

4 Resultados e Discussão

4.1 Identificação da Ociosidade

Os dados obtidos diretamente com a Coordenadoria de Estudos Estatísticos e Informações Estratégicas – CTE estão expressos na Figura 7 demonstrando o volume de passageiros transportados em cada faixa horária de operação comercial da rede de linhas sob gestão do METRÔ.

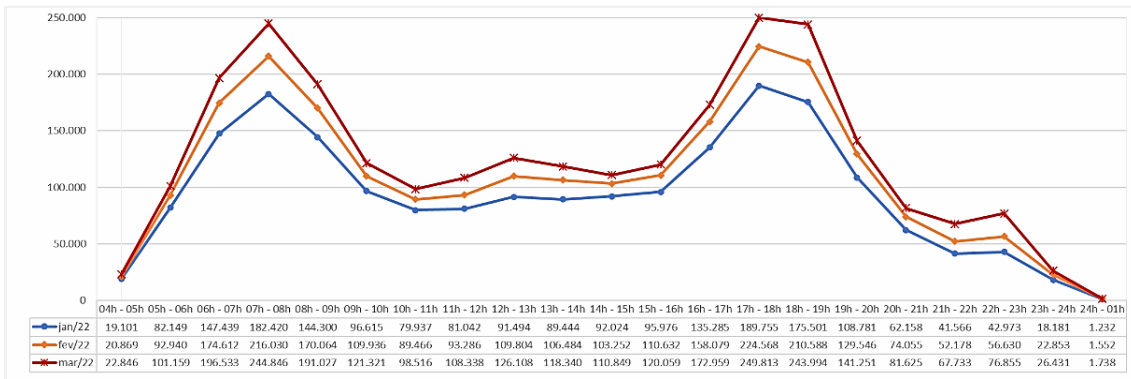


FIGURA 7 - Passageiros transportados na rede - média dias úteis

Fonte: Coordenadoria de Estudos Estatísticos e Informações Estratégicas (METRÔ, 2022c).

Ao realizar o somatório das médias horária em dia útil, foi possível expressar na Figura 8, o volume médio total em dias úteis, que passa a ser comparável com os dados históricos de 2019 e 2020 da Figura 3.

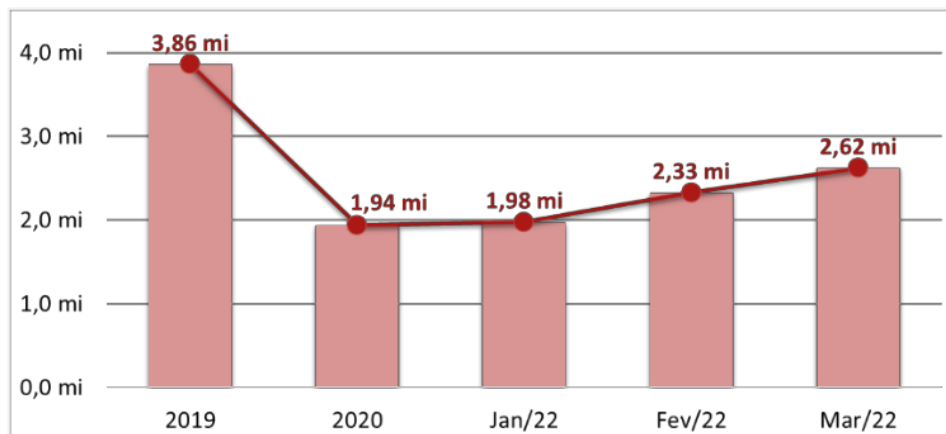


FIGURA 8 - Média total de passageiros transportados em dias úteis.

Fonte: Elaborado pelo autor.

É possível identificar na Figura 8 uma variação crescente de médias em dia útil, resultado provável da retomada de trabalho presencial e da atividade econômica em geral, com maior volume de deslocamentos da população após a redução de restrições de distanciamento social impostas como medidas de controle da pandemia do COVID-19, porém ainda não alcançando o patamar original de 2019, como demonstra a Figura 9.

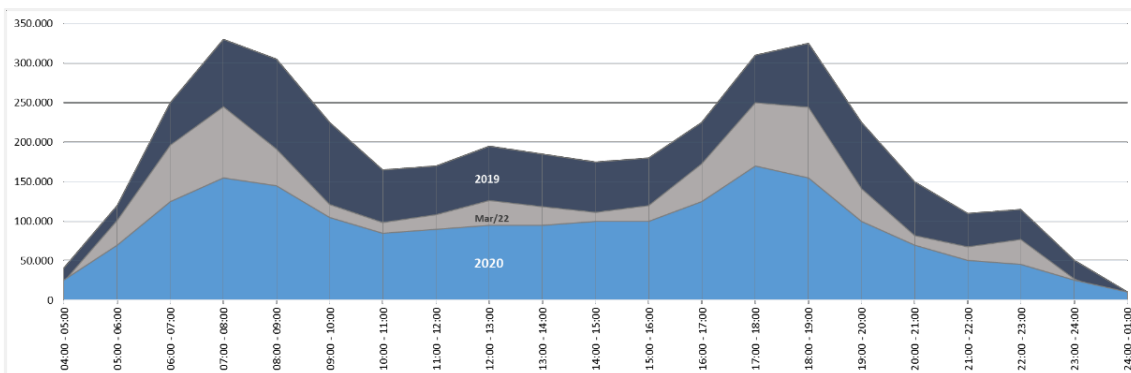


FIGURA 9 – Histórico médio horário de passageiros transportados em dia útil.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Assumindo que a maior capacidade média captada pelo serviço de transporte de passageiros foi medida em março de 2022, foi definido como teto de capacidade o valor de 250.000 passageiros por faixa horária para se estabelecer uma referência de medição do número de viagens não realizadas ao longo do dia. O resultado demonstrado na Figura 10, é de 2,94 milhões de viagens não realizadas frente a 2,62 milhões de passageiros transportados efetivamente em março de 2022.

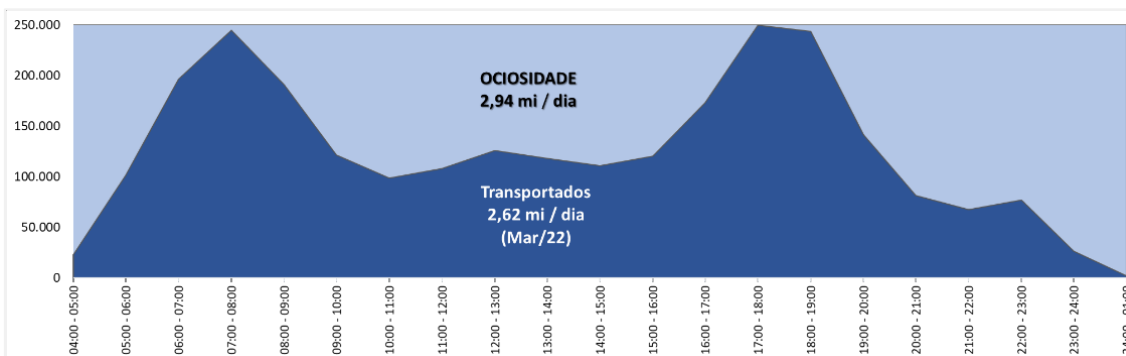


FIGURA 10 – Número de viagens não realizadas em dia útil

Fonte: Elaborado pelo autor.

Delimitando-se os períodos de vale com maior duração, entre 9h e 16h e posteriormente entre 20h e 1h, capazes de serem aproveitados por um serviço otimizador da capacidade ociosa, foi inferido sobre o histograma de média de passageiros transportados, na Figura 10, o volume de viagens potencialmente aproveitadas a fim de valorar a receita ociosa, equivalente ao total de 1.942.084 viagens ociosas por dia útil.

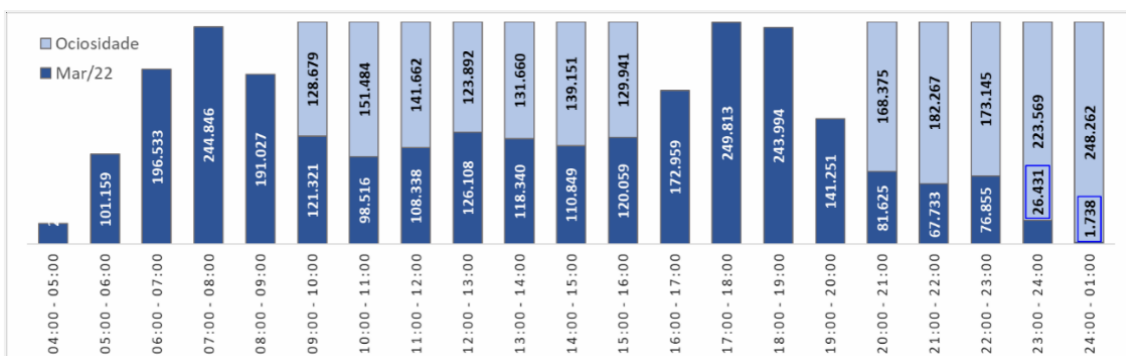


FIGURA 11 – Viagens otimizáveis em períodos de vale (9h às 16h e 20h às 01h).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para se estimar a receita ociosa com o número de viagens não realizadas, primeiramente foi obtido o valor de receita média por passageiro em reais, somando-se os volumes totais de passageiros, como divisor, e o total de receitas obtidas com tarifa bruta e ressarcimentos por gratuidades, como dividendo, do dados do 1º trimestre de 2022 obtidos no Portal da Transparência (METRÔ, 2022a). A receita média obtida desta razão foi de R\$ 3,21 por passageiro transportado conforme Figura 12.

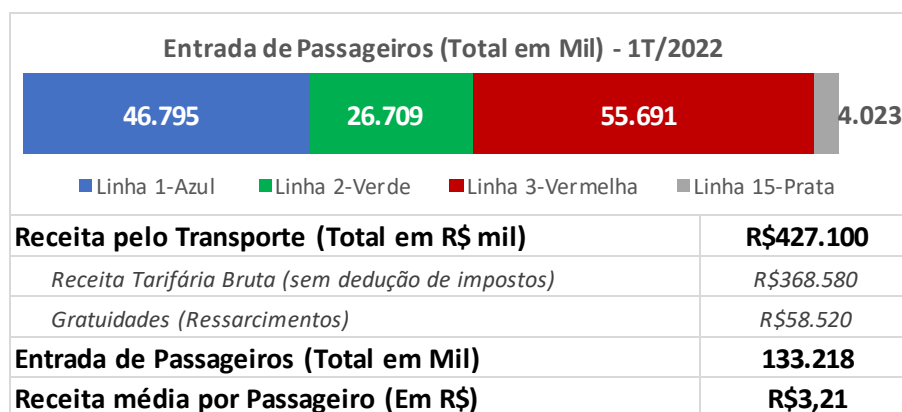


FIGURA 12 - Estimativa calculada de receita ociosa.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Do produto entre a receita média por passageiro e o volume de viagens potencialmente aproveitadas, se obtém a receita média ociosa por dia útil, com potencial de ser captada por outro serviço além do transporte de passageiros, que alcança o valor de **R\$ 6.234.097,85**.

Desse modo se apresenta o desafio de viabilizar algum modo de melhorar o desempenho do transporte metroviário, otimizando o desperdício verificado de viagens não realizadas por passageiros, apesar do sistema continuar operando com capacidade de realizá-las.

4.2 Fatores operacionais no METRÔ de São Paulo

A premissa escolhida para mapear os fatores operacionais do METRÔ em São Paulo foi a redução de impactos e interferências operacionais ao sistema atualmente dedicado ao transporte de passageiros, na busca de adaptações para a aplicação do fluxo de processos propostos por Villa e Monzon (2021) na Figura 4.

Referente aos pátios de manutenção onde poderiam estar os depósitos do METRÔ, em função do espaço disponível, a operação é configurada para que todos os trens saiam do pátio descarregados para embarque de passageiros na plataforma das estações, portanto não há disponibilidade técnica de realização de embarque de cargas neste ambiente sem interferência operacional significativa do pátio. Dessa forma identifica-se maior viabilidade de implementar os depósitos do METRÔ associados a uma ou mais estações, de cada linha que venha a oferecer o serviço, e não a um pátio de manutenção.

Na maioria das estações do METRÔ em São Paulo existem escadas rolantes para vencer os desníveis entre o acesso pela rua e a plataforma de embarque no trem, e têm como características mais relevantes para este caso, o fato de proporcionarem uma capacidade de carga em peso significativa para movimentação com equipamentos de tração manual, limitada a 140kg por degrau, o equivalente médio a dois passageiros (METRÔ, 2009). Além disso, ao contrário dos elevadores também existentes nas estações, que são dedicados prioritariamente a passageiros com mobilidade reduzida, as escadas rolantes promovem fluxo contínuo de deslocamento, que também se alinha ao princípio do *Lean Thinking* evitando a restrição de espera, que seria mais um modo de desperdício identificado pelo STP.

No contexto das estações do METRÔ, a condição de segurança contra incêndio restringe a obstrução de fluxo em rota de fuga no caso de evacuação de emergência, portanto, convém evitar o posicionamento de armários inteligentes (*smart lockers*) ou um modo alternativo para entrega de encomendas, no nível de plataforma das estações. Com esta premissa seria possível dispor de pontos de entrega e retirada de encomendas nos níveis de bilheteria das estações, que são mais amplos e próximos do acesso de passageiros para a rua.

A disponibilização de áreas operacionais de estações para exploração comercial é prática consistente das operadoras do transporte metroviário, inclusive por meio de concessão para exploração com padrões de instalações. Mas também existe na Companhia do METRÔ uma modalidade provisória por meio de Autorização de Uso, que é um dispositivo baseado na legislação de administração das empresas públicas e permite a experimentação de serviços, ações de marketing e exploração de atividades comerciais por tempo determinado. Portanto seria uma possibilidade para que empreendimentos experimentais em pequena escala do serviço de coleta, transporte e entrega, integrados ao serviço de transporte de passageiros, sejam estruturados.

4.3 Propostas para o serviço de logística integrado

Para propor uma operação inicial de integração entre o transporte de passageiros e de cargas, Bruzzone, Cavallaro e Nocera (2021) sugerem que ao menos uma instalação para consolidação e locais de coleta e entrega devem ser disponibilizados em centros de fluxo selecionados.

Ao menos quatro ativos logísticos do METRÔ são essenciais ao funcionamento do serviço. Destinando-se primeiramente ao armazenamento e consolidação de cargas (depósito do METRÔ), em segundo lugar à movimentação interna (escadas rolantes e equipamentos seguros de tração manual), transporte (trens com área segregada dos passageiros), e por fim, áreas comerciais das estações para operação de Ponto de Coleta e Entrega de remessas (*PUDO: pick-up & drop off point*).



FIGURA 13 – ENTREGA integrada ao METRÔ.

Fonte: Elaborado pelo autor.

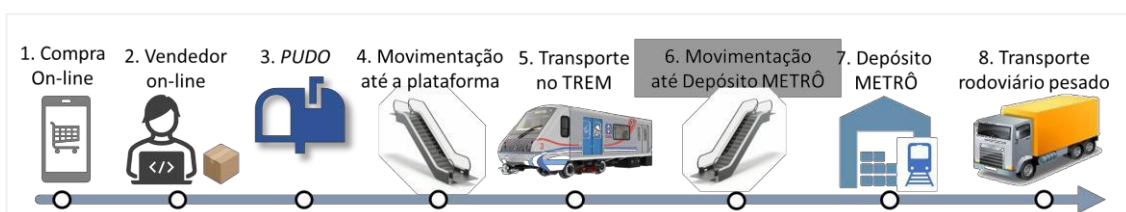


FIGURA 14 – COLETA integrada ao METRÔ.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Já a experimentação de um serviço em campo poderia ser estruturada selecionando pontos com fluxo significativo de passageiros em uma das linhas operacionais para realizar os fluxos de entrega e coleta, e aperfeiçoar iterativamente os processos, segundo as premissas da conceituação do *Lean* em busca de melhoria contínua.



FIGURA 15 – Localização de ativos e modelo de operação na Linha 15 – Prata.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nesta proposta demonstrada, na Figura 15, aplicada à Linha 15 - Prata de monotrilho, o posicionamento do Depósito METRÔ está proposto na estação terminal, para onde segue o maior fluxo da manhã, pois viabiliza a operação de entrega no sentido oposto desde o início do dia, nos trens subocupados, com trechos do salão segregados de passageiros. Com dados de oferta do (METRÔ, 2022b), em volume de passageiros que acessam cada estação (em mil, "k"), foram definidos conjuntos de estações que somadas registram entrada superior 10mil passageiros, para a localização dos *PUDO* em estações intermediárias, todas atendidas por escadas rolantes.

5 Considerações finais

Os resultados deste trabalho demonstraram que o sistema de transporte de passageiros da Companhia do METRÔ possui subocupação em períodos entre picos de demanda, ofertando ampla infraestrutura e espaço nos trens sem a equivalente demanda de passageiros pelo serviço de transporte, portanto, opera com desperdício de superprodução na oferta de viagens a passageiros somando em março de 2022 cerca de 2,9 milhões de viagens não aproveitadas, equivalentes a cerca de R\$ 6,2 milhões de receita não auferida.

Para identificar os fatores operacionais e superar o desafio de viabilizar um serviço otimizador da ociosidade, intrínseca do sistema em atendimento a passageiros, a premissa fundamental selecionada foi a mitigação de interferência e de adaptação ao serviço em operação.

Ficou demonstrado que a infraestrutura instalada tem competências de atender, com adaptações, um serviço de distribuição logística, para atender a demanda de entregas originadas pelo comércio eletrônico, desde que: o Depósito METRÔ, para armazenamento e consolidação de viagens seja na proximidade de uma ou mais estações e não em pátios de manutenção; a movimentação interna nas estações seja atendida por escadas rolantes, utilizando equipamentos seguros de movimentação com tração manual; os Pontos de Coleta e Entrega (*PUDO*) para atendimentos a vendedores e consumidores sejam posicionados em estações de fluxo significativo e fora do nível das plataformas de embarque, preferencialmente no nível das bilheterias.

Por fim, uma proposta de experimentação estruturada em ambiente controlado, de uma linha de monotrilho operacional, identificou ativos logísticos existentes e a sequência de funcionalidades a serem estabelecidas para que a integração entre o transporte de passageiros e a distribuição logística de encomendas seja viabilizada.

Este trabalho possui limitação quanto a garantir a aplicabilidade da proposta de operação integrada, pois não pôde instanciar a aplicação do modelo operacional sugerido mediante adaptações ao modelo referencial, mas com as contribuições aqui obtidas, fica a lacuna a ser preenchida por estudos futuros, que podem se debruçar sobre o detalhamento dos processos operacionais e de negócio, para cumprir as funcionalidades de coleta e de entrega de remessas, e a experimentação em campo utilizando os ativos identificados, adaptando os fatores operacionais para mitigação de interferências.

Referências

BRUM, M. C. DA S. **Análise da eficiência no modelo de financiamento do transporte metroferroviário no Brasil**. 2021. Tese (Doutorado em Ciências Contábeis) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Porto Alegre, 2021.

AEAMESP, A. DOS E. E A. DE M. **A implantação do CBTC na Linha 2-Verde do Metrô-SP foi uma conquista**. AEAMESP - Associação dos Engenheiros e Arquitetos de Metrô, 10 abr. 2017. Disponível em: <<https://www.aeamesp.org.br/blog/a-implantacao-do-cbtc-na-linha-2-verde-do-metro-sp-foi-uma-conquista/>>. Acesso em: 5 set. 2022

BRASIL. **LEI Nº 12.587, de 3 de janeiro de 2012. Institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12587.htm>. Acesso em: 25 jun. 2022.

BRUM, M. C. DA S. **Análise da eficiência no modelo de financiamento do transporte metroferroviário no Brasil**. 2021. Tese (Doutorado em Ciências Contábeis) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Porto Alegre, 2021.

BRUZZONE, F.; CAVALLARO, F.; NOCERA, S. The integration of passenger and freight transport for first-last mile operations. **TRANSPORT POLICY**, v. 100, p. 31–48, jan. 2021.

EUROPEAN COMMISSION. **Green Paper - Towards a new culture for urban mobility**. **EUR-Lex Access to European Union Law**, 25 set. 2007. Disponível em: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52007DC0551&from=EN;%20last>>. Acesso em: 10 set. 2022

HINES, P.; TAYLOR, D. **Going lean**. 1. ed. Cardiff, UK: Lean Enterprise Research Centre, Cardiff University, 2000. v. 1

LIKER, J. K. **O modelo Toyota: 14 Princípios de gestão do maior fabricante do mundo**. 2. ed. Porto alegre: Bookman Editora, 2021.

METRÔ, C. DO M. DE S. P. **PRO-19-215 MOVIMENTAÇÃO DE MATERIAIS NAS ESTAÇÕES.** , 21 dez. 2009.

METRÔ, C. DO M. DE S. P. **Relatório Integrado 2021.** Disponível em: <<http://www.metro.sp.gov.br/metro/institucional/pdf/relatorio-integrado-2021.pdf>>. Acesso em: 28 maio. 2022.

METRÔ, C. DO M. DE S. P. **Demonstração de Resultados.** Disponível em: <<https://transparencia.metrosp.com.br/dataset/demonstra%C3%A7%C3%A3o-de-resultados>>. Acesso em: 22 jun. 2022a.

METRÔ, C. DO M. DE S. P. **Oferta | Metrô.** Disponível em: <<https://transparencia.metrosp.com.br/dataset/oferta>>. Acesso em: 5 set. 2022b.

METRÔ, C. DO M. DE S. P. **Diretoria de Operações.** Disponível em: <<https://governancacorporativa.metrosp.com.br/Paginas/Diretoria-de-Opera%C3%A7%C3%B5es.aspx>>. Acesso em: 22 jun. 2022c.

OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala.** Porto alegre: Bookman, 1997.

ROSATTI FILHO, M. A. **Metrô Logística - Um novo olhar para o transporte urbano de mercadorias.** . Palestra apresentado em 27º Semana de Tecnologia Metroferroviária. São Paulo, 16 set. 2021. Disponível em: <<https://semanadetecnologia.com.br/27semana/evento/evento?id=79>>. Acesso em: 4 out. 2022

STIPPE, G. **Desenhos de Trens Urbanos: TUE Bombardier (Atual série M do Metrô SP). Desenhos de Trens Urbanos,** 29 ago. 2018. Disponível em: <<http://ferroviadopaulinho.blogspot.com/2018/08/tue-bombardier-atual-serie-m-do-metro-sp.html>>. Acesso em: 28 maio. 2022

STM/SP, S. DOS T. M. **Parcerias e Inovação – Secretaria dos Transportes Metropolitanos.** Disponível em: <http://www.stm.sp.gov.br/?page_id=49>. Acesso em: 3 set. 2022.

TEIXEIRA, S. M. et al. Qualidade do transporte urbano de passageiros: uma avaliação do nível de serviço do sistema do metropolitano de São Paulo / Quality of the urban passenger transport: an evaluation of the level service system metropolitan of São Paulo. **Revista Metropolitana de Sustentabilidade (ISSN 2318-3233)**, v. 4, n. 1, p. 3–20, jan. 2014.

VILLA, R.; MONZON, A. A Metro-Based System as Sustainable Alternative for Urban Logistics in the Era of E-Commerce. **Sustainability**, v. 13, n. 8, p. 4479, abr. 2021.

WOLF, B. The Machine That Changed the World - Womack,jp, Jones,d, Roos,d. **Journal of International Business Studies**, v. 22, n. 3, p. 533–538, 1991.