



AEAMESP



**“Trens Regionais e o transporte de cargas como indutor da nova rede ferroviária, uma abordagem teórica.”**

Carlos Alberto Iannoni



AEAMESP



## “21ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA”

### “2º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS”

#### CATEGORIA 1:

Políticas públicas, planejamento urbano, mobilidade sustentável, planejamento e concepção de sistemas de transporte.

“Trens Regionais e o transporte de cargas como indutor da nova rede ferroviária, uma abordagem teórica.”

#### ARTIGO

##### 1- INTRODUÇÃO

Esse artigo pretende colaborar com as ações de implantação e revitalização das ferrovias, abordando comparativamente a formação de ociosidade nos sistemas viários. Parte da premissa de que em muitos casos, a prática do modelo de produção em massa de serviços ferroviários para nichos específicos de passageiros assume altos níveis de ociosidade dos investimentos em infraestrutura ferroviária.

A adaptabilidade é um dos pilares mais sólidos para o século 21, onde a alta frequência de paradigmas quebrados provocou o desenvolvimento de sistemas multifuncionais de tamanha complexidade que a valoração das inovações tecnológicas antes tarefa dos financistas, hoje é atividade de futurólogos. Aparelhos de comunicação multifuncionais, impressoras, carros múltiplo terreno, profissionais generalistas, residências inteligentes



AEAMESP



e uma gama enorme de elementos a nossa volta sofrendo processos evolutivos via *destruição criativa*<sup>1</sup>.

Na indústria do transporte ocorre o mesmo processo evolutivo, permanecendo imutável as tecnologias de deslizamento em líquidos para o transporte nos mares e rios e a tecnologia de rolagem para transporte terrestre sendo que duas tecnologias de rolagem prevaleceram no transporte terrestre. Uma delas é a rolagem com pneus, oferecendo flexibilidade, adaptabilidade e capilaridade no transporte de pequenos módulos; a outra é a rolagem com rodas de aço sobre trilhos, oferecendo alta capacidade em todos os aspectos com baixa capilaridade.

O contato roda-trilho consolidou-se como tecnologia ao longo do século 20, produzindo um binômio imbatível ao aliar alta capacidade de carga por eixo e baixo coeficientes de atrito. Se por um lado o contato roda-trilho é incapaz de oferecer capilaridade como *tecnologia de produto*<sup>2</sup>, várias estratégias e *tecnologias de processo*<sup>3</sup> capacitam os sistemas ferroviários para aumentar a flexibilidade e adaptabilidade.

## 2- DIAGNÓSTICO

### 2.1- As tecnologias de rolagem para transporte terrestre

Abordaremos os principais aspectos das tecnologias de produto e tecnologias de processos dos sistemas terrestres.

---

<sup>1</sup> Inovações trazidas ao mercado por meio de novos produtos e serviços que provocam mudanças profundas ou proporcionam o surgimento de novos mercados. Ex: editor de texto destruindo o mercado de máquinas de escrever, surgimento do Facebook.

<sup>2</sup> Tecnologia internalizada em um produto capacitando-o a diferenciar-se de outros similares.

<sup>3</sup> Tecnologia internalizada a um processo produtivo alterando a “forma de fazer”, capacitando-o a diferenciar-se de outros similares.



AEAMESP



## 2.1.1- Tecnologias de rolagem sobre pneus.

### 2.1.1.1- Tecnologias de produto.

O pneu é uma inovação capaz de amortecer, aderir e sustentar cargas simultaneamente ao movimento de giro. Analogamente ao transporte sobre superfície líquida, o transporte sobre pneus pode rolar em praticamente todas as superfícies sólidas, oferecendo diversas possibilidades. Entre as principais características temos:

- a) Flexibilidade operacional: o transporte sobre pneus permite mudanças de trajetória não programadas, diversas adaptações aleatórias e reativas para a otimização do processo operacional de transporte;
- b) Adaptabilidade: o pneu se adapta a diversas superfícies de rolagem, viabilizando o transporte sob diferentes condições de tráfego;
- c) Capilaridade: realizando transporte em pequenos módulos, a rolagem sobre pneus permite iniciar o processo mais próximo da origem e finalizar o processo mais próximo do destino;
- d) Capacidade: baixa capacidade modular, em equilíbrio com as três características citadas acima;
- e) Custo: alto custo, ônus produzido pelas quatro características citadas acima;

Os equipamentos utilizados para transportar sobre pneus são engenhos típicos do modelo de produção em lotes intermitentes, perdendo eficiência quando operados sob regime de produção em massa. Quanto mais se avança na massificação do transporte, maior é a degradação das três características abordadas acima.



AEAMESP



Muitas inovações de processos utilizam o transporte sobre pneus nos processos de produção em massa; rotas fixas com alto volume transportado resultando em uma aberração funcional.

### 2.1.1.2- Tecnologias de processos.

A rolagem sobre pneus contou com gênios inventivos que ofereceram diversas inovações radicais de produtos e a quebra de paradigmas seculares. Podemos citar o veterinário John Boyd Dunlop (inventor do pneumático) , o vendedor Nicolaus August Otto (inventor do motor de explosão interna), o engenheiro Karl Benz (inventor do primeiro carro), o engenheiro Gottlieb Daimler (inventor da primeira motocicleta), o mecânico auto didata Enzo Ferrari (carros de alto desempenho), o engenheiro Ferdinand Porsche (inventor de carro com sistema de direção elétrica e dos blindados mais poderosos da II Guerra) e o mecânico Soichiro Honda ( inventor da motocicleta Honda Super Cub, veículo mais vendido da história) como personalidades agressivas na criação de engenhos sobre pneus. Paralelamente, outros gênios ofereceram inovações de processos não menos importantes, como o fazendeiro Henry Ford (linha de produção em massa), o engenheiro Taiichi Ohno (sistema Toyota de produção, Kanban).

Embora a lista das personalidade e inovações de produtos seja maior que a lista de personalidade e inovações de processos, a segunda apresenta a intensidade que definiu o transporte sobre pneus como modelo preponderante. Henry Ford foi consagrado pela adaptação do processo em linha observado nos abatedouros da época, porém, grandes inovações no processo de comercialização, na remuneração dos funcionários e a quebra de patente para a fabricação de carros foram cruciais no desenvolvimento da indústria automobilística. Podemos observar que muitas tecnologias de produto não se



AEAMESP



transformam em inovações por não estarem acompanhadas de tecnologias ou inovações de processos adequadas. O transporte sobre pneus equaciona muito bem as variáveis produto e processo, transformando-se num gigante descomunal que começa a dar os primeiros sinais de que as inovações de produto não respondem mais com a mesma intensidade e que mais crescimento já é visto como nocivo ao desenvolvimento da sociedade. Essa indústria corre o risco de desenvolver uma alergia automotiva na sociedade.

## 2.1.2- Tecnologias rolagem sobre rodas de aço.

### 2.1.2.1- Tecnologias de produto.

A roda de aço sobre trilhos é uma inovação capaz de sustentar altos níveis de cargas com baixíssimo coeficiente de atrito, fazendo com que a energia necessária para realizar o transporte seja reduzida drasticamente. Inicialmente utilizada em minas de carvão, popularizou-se após a criação da locomotiva a vapor e diferentemente do transporte sobre pneus que desliza sobre superfície sólida, o transporte sobre rodas de aço é realizado sobre trilhos de aço previamente instalados numa rota fixa.

A rolagem sobre roda de aço contou com gênios inventivos mais conservadores, prevalecendo as inovações incrementais de produto. Podemos citar o engenheiro George Stephenson (locomotiva a vapor), o engenheiro Paul Decauville ( sistema ferroviário portátil), o engenheiro Jean Larmanjat (sistema ferroviário sobre monotrilho), os engenheiros Niklaus Rigggenbach, Emile Strub, Carl Roman Abt, Sylvester Marsh (sistemas de cremalheiras), o químico Hans Goldschmidt (solda aluminotérmica), o inventor Andrew Jackson Beard (ex escravo americano, inventor do engate Jenny), o ferreiro Thomas Davenport (locomotiva elétrica), engenheiro George Whestinghouse



AEAMESP



(freios a ar comprimido) e o engenheiro Hermann Lemp (locomotiva diesel elétrica) como mentes que colaboraram para a evolução dos sistemas sobre rodas de aço.

Abordando as principais características tecnológicas temos:

- a) Flexibilidade operacional: um engenho inflexível e pragmático, o transporte sobre rodas de aço utiliza trilhos fixos e qualquer mudança operacional em um dos módulos transportados afeta todos os demais;
- b) Adaptabilidade: os engenhos equipados com rodas de aço são projetados para rolar em trilhos especificados para extrair o máximo desempenho da interação roda-trilho, qualquer variação das especificações em um dos elementos resulta em grandes perdas de eficiência. É a especialização do contato roda-trilho quem desenvolve os benefícios;
- c) Capilaridade: preso aos trilhos e transportando altos volumes, a rolagem sobre rodas de aço é incapaz de realizar o transporte de forma distributiva e individualizada, criando a necessidade de outros elementos para finalizar o processo;
- d) Capacidade: o contato roda-trilho é capaz de suportar altos níveis de peso e velocidade com baixo consumo energético, devido a pequena área de contato das rodas com os trilhos;
- e) Custo: mesmo sendo acusado erroneamente como um sistema intensivo no uso de capital, essa tecnologia de produto consolida sistemas seguros, ambientalmente adequados e eficientes economicamente.

Os equipamentos utilizados para transportar sobre rodas de aço são engenhos típicos do modelo de produção em massa, perdendo eficiência quando operados sob regime



AEAMESP



de produção em lotes. Quanto mais opera produzindo lotes intermitentes, menor é a produção de benefícios oferecida pelo engenho.

Podemos entender e classificar o sistema ferroviário como o produto de uma inovação incremental originado de uma correia transportadora, um processo de engenharia reversa onde a correia permanece estática e as partes móveis transitam sobre a esteira. Perceber o sistema ferroviário como um novo tipo de esteira transportadora é afirmar os engenhos ferroviários como máquinas típicas do sistema de produção contínua. Esse paradigma cristalizado deve nortear o desenvolvimento das inovações de produto e processos para não cometermos o equívoco de utilizarmos equipamentos projetados para processos contínuos em demandas típicas de outros sistemas de produção.

### 2.1.2.2- Tecnologias de processos.

Diversas tecnologias de processos buscam otimizar a atuação dos engenhos ferroviários e podemos destacar a *escola européia*<sup>4</sup>, a *escola americana*<sup>5</sup> bem como vários modelos de programação para os fluxos. Todos propõem formas de otimizar o trânsito das unidades móveis sobre a esteira ferroviária, variando frequência e capacidade. Outra importante tecnologia de processo é a segregação do transporte de cargas e passageiros, que pretende especialização funcional para alcançar eficiência no atendimento das demandas específicas. Algumas personalidades que promoveram inovações de processos são os engenheiros Benjamin Henry Latrobe, Daniel McCallum e J. Edgar Thomson (implantação dos métodos da administração moderna). No Brasil os

---

<sup>4</sup> Conjunto de conceitos operacionais criados na Europa que preconiza a formação de trens curtos, leves e rápidos

<sup>5</sup> Conjunto de conceitos operacionais criados nos EUA que preconiza a formação de trens longos, pesados e relativamente lentos.



engenheiros Antônio Rebouças e João Teixeira Soares (soluções para a ferrovia Curitiba-Paranaguá), os engenheiros Valter Valenzuela e Cyro Laurenza (implantação de sistemas roadrailer, rodotrilhos).

Inovar processos ferroviários significa acima de tudo otimizar o trânsito das unidades sobre a esteira ferroviária e dela extrair todo o potencial oferecido pelo engenho.

## 2.2- Metodologia e coleta de dados

Com o objetivo de comparar os níveis de utilização da infraestrutura, optamos pela homogeneização das amostragens. Para isso convertimos as viagens realizadas pelas entidades (passageiros, cargas ou acesso para manutenção), em frações de ocupação da capacidade, os *slots*<sup>6</sup>. Esse método permite observarmos o comportamento das entidades que utilizam a infraestrutura ao longo do espaço-tempo e permite também identificarmos os níveis de máxima e mínima utilização. Para a abordagem pretendida, o nível máximo de utilização define a capacidade máxima da infraestrutura.

Os dados utilizados foram obtidos junto aos sítios eletrônicos do DNIT, ANTT, AEAMESP e STMSP. Os dados coletados foram convertidos em gráficos de área e os dados sobre trens regionais foram produzidos segundo as diretrizes preconizadas no documento da Secretaria de Transportes Metropolitanos do estado de São Paulo.

---

<sup>6</sup> Um slot é um termo do modal aéreo e define um módulo que agrupa diversos fatores de produção presentes em uma infraestrutura. Slot de pouso ou decolagem, ou slot de aeroporto é um direito concedido pela autoridade do aeroporto que permite ao titular do slot realizar um pouso ou decolagem em um local específico durante um período de tempo específico.

## 2.3- Desenvolvimento

### 2.3.1- Identificando e comparando as ociosidades

Nos próximos anos implantaremos trens regionais que progressivamente formarão uma rede ferroviária. Os estudos convergem para a implantação de um sistema especializado no transporte de passageiros e invariavelmente apresenta entraves de viabilidade econômica, solicitando subsídios públicos vultuosos para ser materializado. Os estudos apresentam demandas suficiente de passageiros, domínio da técnica e outros fatores favoráveis que torna incompreensível os dilemas que cerceiam a materialização dos projetos. Podemos identificar a lógica onde a ferrovia assume um papel reativo à demanda, ocupando espaços geográficos tardiamente. A especialização funcional ferroviária pressupõe demanda preexistente e consolidada para apresentar viabilidade econômica, mesmo contando com subsídios.

Viabilizada a instalação da esteira ferroviária, o sistema apresenta altos níveis de produção e simultaneamente altos níveis de ociosidade. Esse comportamento ocorre pela especialização na prestação de *serviços não estocáveis*<sup>7</sup>, atendendo ao nicho de passageiros que demandam viagens nos horários de pico conforme demonstra o gráfico.

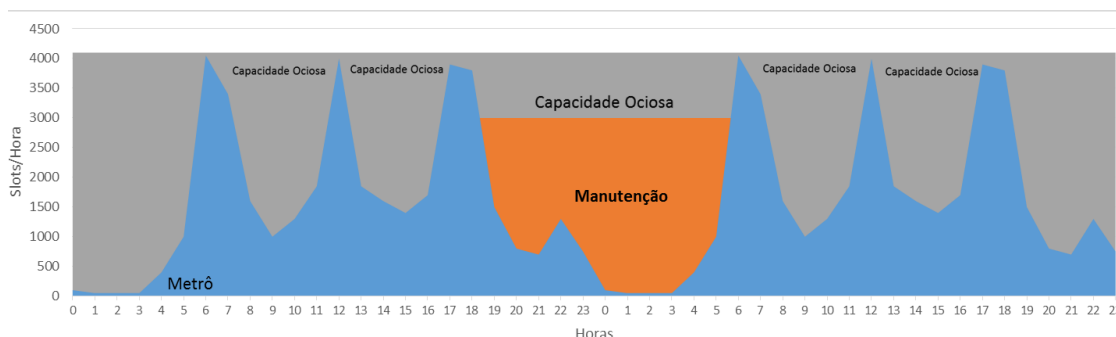


Gráfico 1- Adaptado, ocupação típica dos slots no Metro SP ao longo de 48 horas.

Fonte: <http://www.aeamesp.org.br/bblt/Lists/Aprsnt/DispForm.aspx?ID=699>

<sup>7</sup> São serviços onde a produção e o consumo ocorrem simultaneamente. Ex: transporte de passageiros.

Similar aos gráficos do Metrô, o trem regional especializado em passageiros apresenta altos níveis de ociosidade.

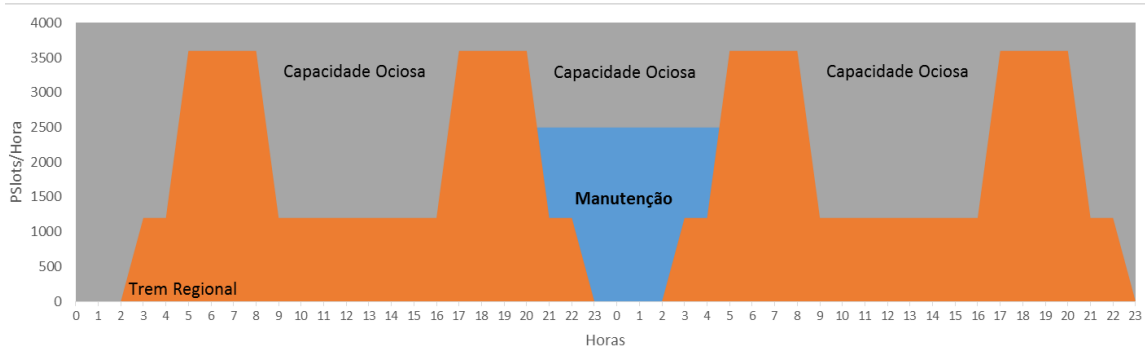


Gráfico 2- Ocupação típica dos slots no Trem Regional de passageiros ao longo de 48 horas.  
 Fonte: <http://www.stm.sp.gov.br/images/stories/regionais23dez.pdf>

Os gráficos apresentam esteiras ferroviárias (típicas do processo de produção contínua) operando no regime de produção em lotes intermitente.

O sistema rodoviário opera de forma flexível e democrática, permitindo que diversos tipos de veículos realizem o transporte de passageiros e mercadorias, conforme demonstra os gráficos a seguir.

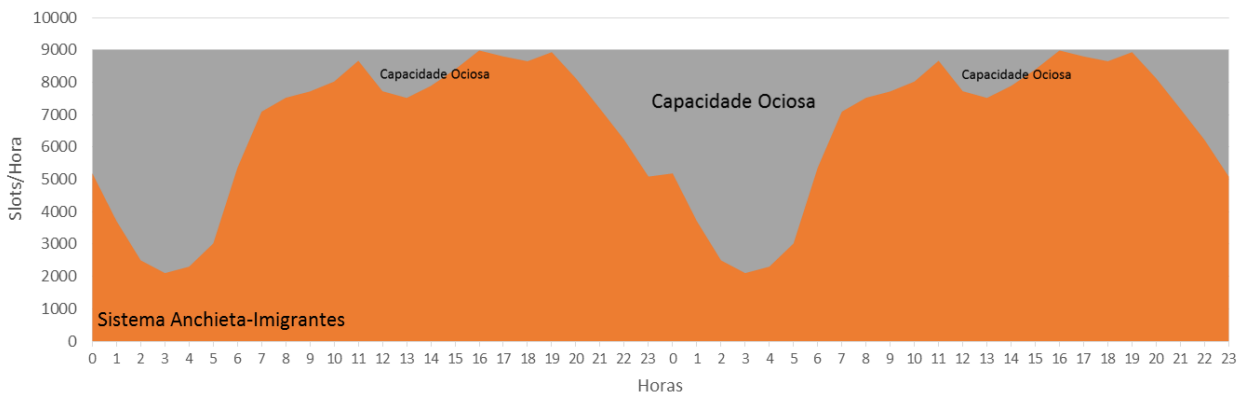


Gráfico 3- Ocupação dos slots no sistema Anchieta-Imigrantes ao longo de 48 horas na última semana de dezembro.  
 Fonte: <http://www.dnit.gov.br/download/planejamento-e-pesquisa/planejamento/contagem-de-trafego/contagem-de-trafego-e-aplicacoes-cid-santos-bicudo-08.10.2014.pdf>

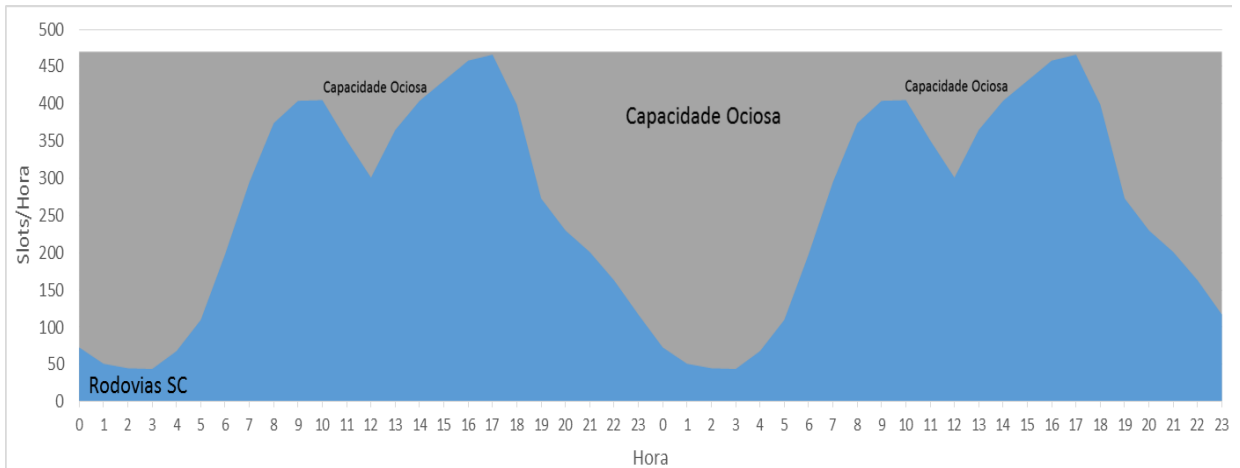


Gráfico 4- Ocupação dos slots em rodovias federais de SC ao longo de 48 horas.

Fonte: <http://www.dnit.gov.br/download/rodovias/operacoes-rodoviaras/convenios-com-a-ufsc/convenio-242006-produto-complementar-1.pdf>

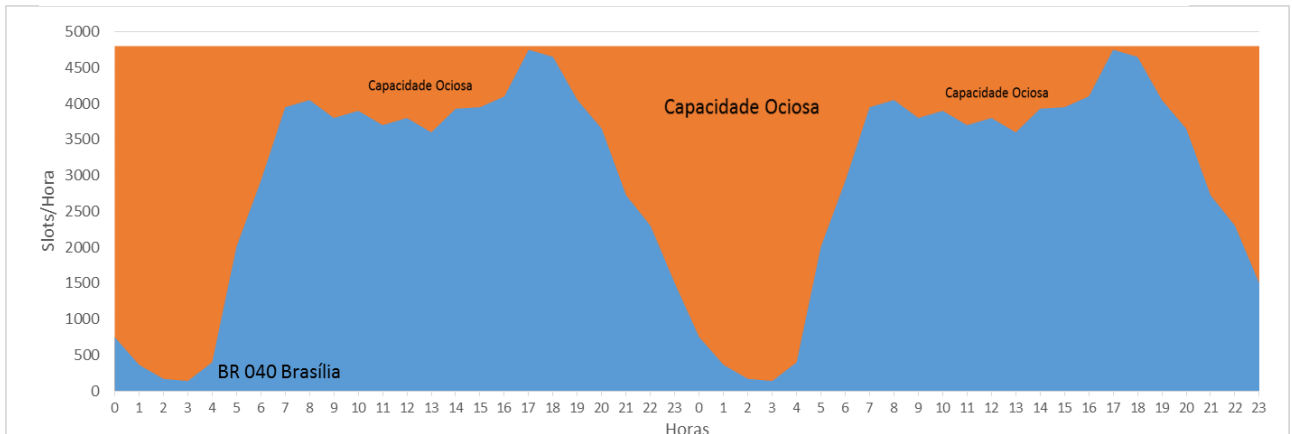


Gráfico 5- Ocupação dos slots na BR040 ao longo de 48 horas.

Fonte: [www.antt.gov.br/html/objects/downloadblob.php?cod\\_blob=13243](http://www.antt.gov.br/html/objects/downloadblob.php?cod_blob=13243)

A diversificação de equipamentos rodoviários, aliado ao transporte de cargas e passageiros (serviços estocáveis e não estocáveis) produz gráficos que apresentam ângulos amenizados, ondulares que resultam em maior aproveitamento da capacidade infraestrutural.

Podemos observar que o comportamento de ocupação dos slots nas três diferentes rodovias é similar, com picos e vales suaves e grande amplitude ao longo do tempo.

Empilhando os dados gráficos de ferrovias e rodovias podemos observar a superioridade do sistema rodoviário em termos de aproveitamento infraestrutural, gráfico 6.

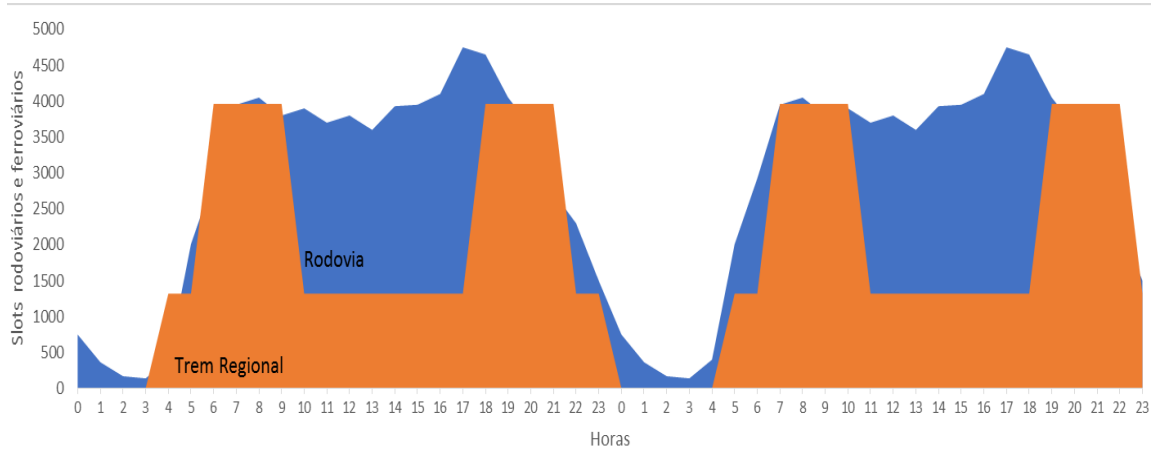


Gráfico 6- Ocupação dos slots ferroviários e rodoviários ao longo de 48 horas.

O sistema rodoviário alcançou o equilíbrio na utilização das tecnologias de produto e tecnologias de processos, um sistema com equipamentos típicos de produção em lotes intermitentes produzindo sob regime de produção em lotes; prestando tanto *serviços estocáveis*<sup>8</sup> quanto *serviços não estocáveis*<sup>9</sup>. Já o sistema ferroviário expõe como a especialização funcional de uma correia ferroviária pode produzir grandes ociosidades, desequilíbrio entre as tecnologias de produto e tecnologias de processos, um sistema típico de produção contínua produzindo lotes para o nicho de passageiros e apenas *serviços não estocáveis*<sup>9</sup>.

### 2.3.2- Reduzindo ociosidades ferroviárias

<sup>8</sup> Serviços onde a produção do serviço ocorre antes do consumo, sendo possível a estocagem de serviço. Ex: serviço de exportação de mercadorias de um país ao outro

<sup>9</sup> São serviços onde a produção e o consumo ocorrem simultaneamente. Ex: transporte de passageiros.



AEAMESP



Para constituirmos uma rede ferroviária sólida, precisamos entender as questões que envolvem a prestação de serviços estocáveis e não estocáveis. Por mais que ajustemos as operações da ferrovia especialista, ela sempre produzirá maior ociosidade em relação a uma ferrovia generalista que preste serviços estocáveis e não estocáveis. Podemos entender que esses serviços se complementam e conduzem a ferrovia para um sistema de produção contínua, típica e nativa de seu engenho, como inovação de produto.

Globalmente os sistemas ferroviários para cargas foram dissociados tecnicamente dos sistemas para passageiros. Via especialização, cada um aprimorou suas tecnologias de produto para executar da melhor forma suas especialidades, criando opostos como os TAV's e as grandes locomotivas diesel-elétricas. Esse caminho tecnológico segregou não só cargas e passageiros mas também as esteiras ferroviárias. Cada uma com suas especialidades, cada uma fabricando suas próprias ociosidades.

Nos últimos anos, favorecido pelo ambiente da escola européia, surgiram novos sistemas ferroviários para cargas gerais, esses sistemas pretendem uma maior versatilidade na transferência modal sem abrir mão das vantagens oferecidas pelo contato roda-trilho. São sistemas generalistas, característica imposta pela modularidade típica do sistema rodoviário. Surgem nas formas de inovadores sistemas TOFC<sup>10</sup> e COFC<sup>11</sup>, desenvolvendo principalmente tecnologias de produtos, apresentando novos vagões e novos terminais intermodais. Alguns inovam criando tecnologias de processo inéditas, combinando equipamentos já produzidos pela indústria.

---

<sup>10</sup> Sistema ferroviário especializado em transporte de cargas, embarcam carretas rodoviárias em vagões ferroviários.

<sup>11</sup> Sistema ferroviários especializado em transporte de cargas, embarcam containers em vagões ferroviários

Ao contrário dos sistemas especializados para cargas pesadas, esses sistemas são capazes de operar em sinergia com os trens de passageiros, compartilhando trilhos e agregando produção de serviços estocáveis à esteira ferroviária.

Ao concebermos um sistema ferroviário generalista, realizando transporte de pessoas (serviços não estocáveis) e transporte de mercadorias (serviços estocáveis), podemos utilizar a esteira ferroviária em regime de produção muito próximo ao contínuo.

O sistema operado sob esses paradigmas possibilita novas estratégias para a implantação de redes ferroviárias, convertendo o que antes era uma ferrovia passiva e reativa às demandas, em uma ferrovia proativa. Um vetor central e propositivo para o desenvolvimento socioeconômicos de um espaço geográfico.

Os gráficos 7 e 8 simulam a implantação de três arcos ferroviários reservando 23% dos slots para atividades de manutenção e distribuem percentualmente a capacidade de produção da esteira ferroviária entre os trens de passageiros, trens de cargas e ociosidade. O gráfico 7 apresenta apenas passageiros e o gráfico 8 apresenta passageiros e cargas.

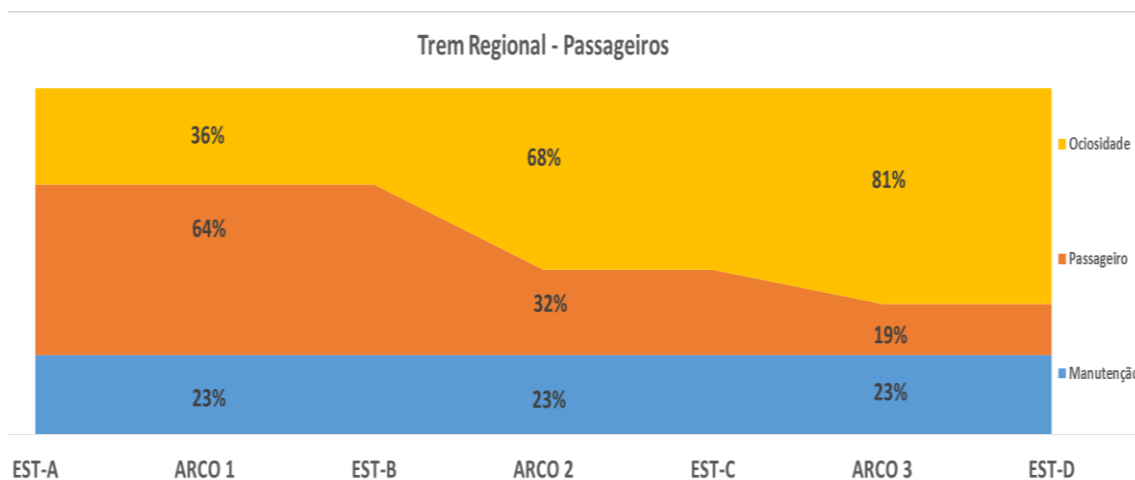


Gráfico 7- Passagem, ocupação percentual dos slots ferroviários ao longo de 3 arcos ferroviários.

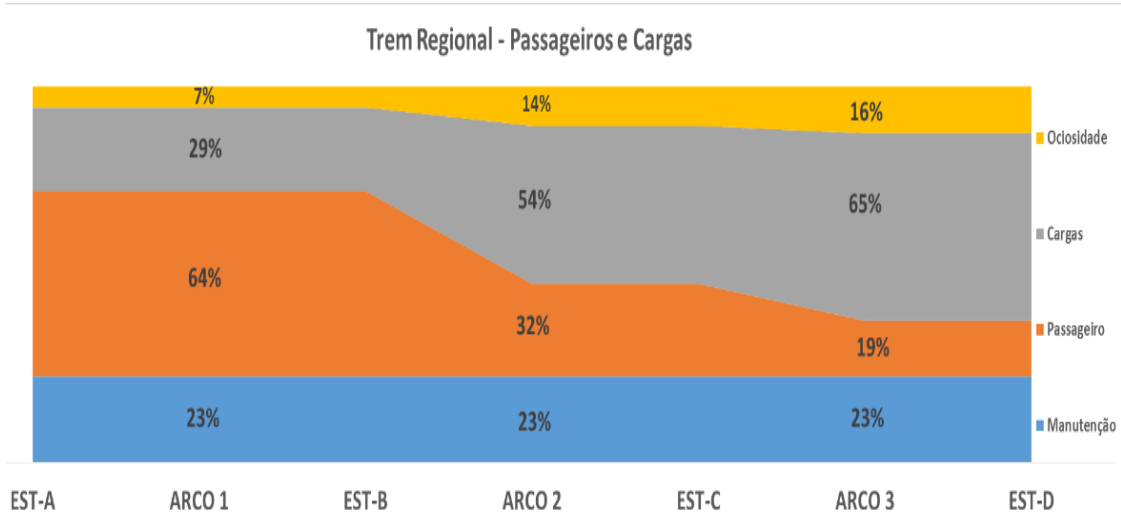


Gráfico 8- Passageiros e cargas, ocupação percentual dos slots ferroviários ao longo de 3 arcos ferroviários.

Conforme demonstrado, para o arco 2 podemos aumentar a  $UCI^{12}$  de 32% para 86% e para o arco 3 aumentar a  $UCI^{12}$  de 19% para 84%.

Nas hipóteses demonstradas nos gráficos 9 e 10 temos a redução no transporte de cargas, e redução da ociosidade, provocadas pelo aumento na procura por serviços de transporte de passageiros ao longo do ciclo de vida do projeto.

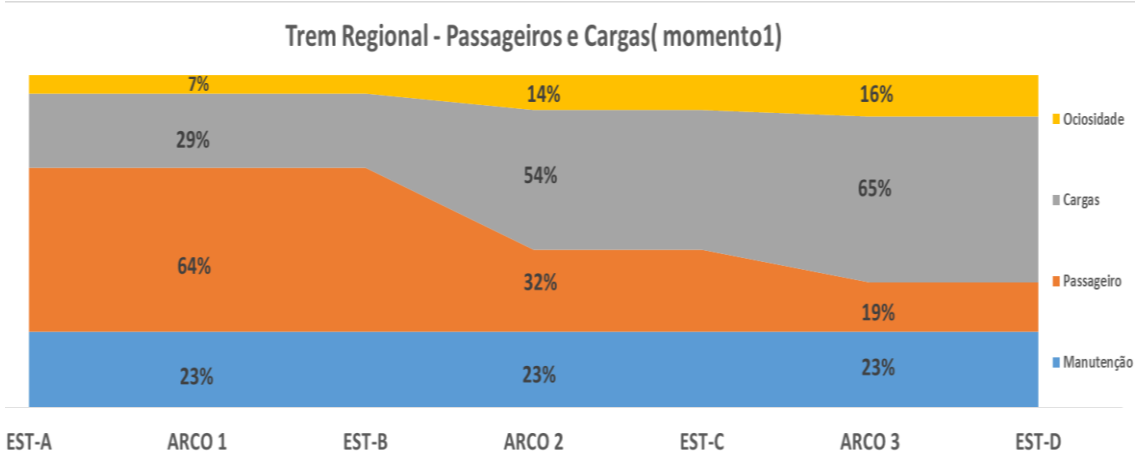


Gráfico 9- Passageiros e cargas, ocupação percentual dos slots ferroviários ao longo de 3 arcos.

<sup>12</sup> Índice produzido pela Confederação Nacional da Indústria que avalia a utilização da capacidade de produção instalada em uma célula de produção. Historicamente esse índice permaneceu entre 70% e 80% da capacidade total. Utilização da Capacidade instalada-UCI.



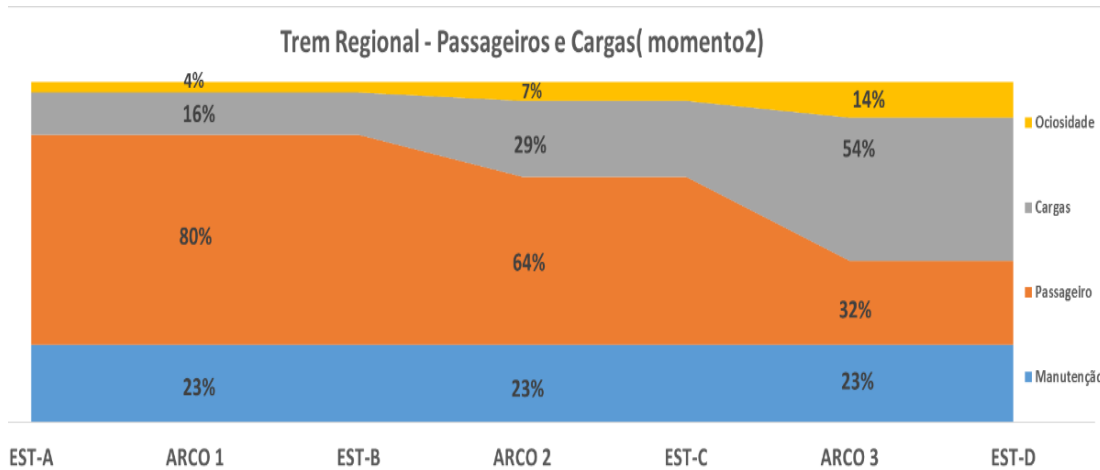


Gráfico 10- Passageiros e cargas, ocupação percentual dos slots ferroviários ao longo de 3 arcos

Esses cenários demonstram que a esteira ferroviária pode produzir com altos percentuais de *UCI* desde a implantação e mesmo nos arcos em que não haja demanda suficiente de passageiros. Quando concebida para prestar serviços não estocáveis e serviços estocáveis, a ferrovia pode flexionar a participação no mercado de cargas e essa migrar para as rodovias até que novos slots ferroviários sejam produzidos (duplicação ou novas ferrovias).

### 3- ANÁLISE DOS RESULTADOS

As rodovias apresentam um perfil de utilização ondular, com amplitude menor e dispersão temporal maior se comparado ao perfil das ferrovias. As ferrovias apresentaram um perfil de utilização escarpado, com picos e vales pronunciados, amplitude maior e lapsos de tempo sem produção.

As ferrovias operando apenas com passageiros produz altos níveis de ociosidade e quando implantam sistemas de cargas, reduzem os níveis de ociosidade e eliminam os lapsos de tempo sem produção.



AEAMESP



## CONCLUSÕES

Mesmo os sistemas ferroviários de alta capacidade, como é o caso do Metrô SP, produzem altos níveis de ociosidade em consequência da especialização funcional. Entretanto não afirmamos o transporte de mercadorias em Metros pelo mundo a fora, mas provocar questionamentos sobre o modelo de distribuição funcional dos engenhos para transportes, onde as ferrovias foram condenadas a depender dos subsídios públicos para financiar suas ociosidades enquanto o sistema rodoviário opera em regime de eficiência máxima.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

<http://www.dnit.gov.br/download/planejamento-e-pesquisa/planejamento/contagem-de-trafejo/contagem-de-trafejo-e-aplicacoes-cid-santos-bicudo-08.10.2014.pdf>

[www.antt.gov.br/html/objects/\\_downloadblob.php?cod\\_blob=13243](http://www.antt.gov.br/html/objects/_downloadblob.php?cod_blob=13243)

<http://www.dnit.gov.br/download/rodovias/operacoes-rodoviaras/convenios-com-a-ufsc/convenio-242006-produto-complementar-1.pdf>

<http://www.aeamesp.org.br/bblt/Lists/Aprsnt/DispForm.aspx?ID=699>

<http://www.stm.sp.gov.br/images/stories/regionais23dez.pdf>