

## **O veículo conectado: perspectivas sobre aplicações da internet das coisas no transporte de carga rodoviário.**

Lívia Goulart Tovar<sup>1</sup>; Nélio D. Pizzolato<sup>1</sup>; Celso Romanel<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio)

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental

Rua Marquês de São Vicente, 225 fax (021)3527-1195 telefone (021)3527-1190

Gávea/ RJ - 22451-900, Rio de Janeiro/ RJ – Brasil

liviagtovar@gmail.com

### **SINOPSE**

Os desafios acerca do desenvolvimento sustentável impulsionam medidas governamentais e incentivos a empresas que investem em soluções nessa direção. No setor do transporte rodoviário de cargas, os avanços em tecnologia permitem uma gestão eficiente de frotas com maior rentabilidade dos investimentos. A Internet das Coisas é um meio pelo qual é possível definir indicadores que auxiliem a operação das empresas e possibilitem a análise mais precisa da pegada ambiental em diferentes níveis, desde a escala micro, que compreende o veículo e a empresa, até a escala macro, envolvendo o setor de transporte de cargas do país. Esse artigo busca levantar indicadores operacionais e ambientais possíveis de serem desenvolvidos a partir de um estudo de caso em que são fornecidos dados enviados de um veículo, com componentes conectados à internet.

### **PALAVRAS-CHAVE**

Desenvolvimento sustentável; transporte de cargas rodoviário; Internet das Coisas; indicadores de frota.

### **INTRODUÇÃO**

A conservação do meio ambiente é um dos pilares do conceito de desenvolvimento sustentável. Segundo IUCN - International Union For Conservation of Nature and Natural Resources (1980), o desenvolvimento sustentável deve levar em consideração fatores sociais e ecológicos, assim como econômicos. A garantia de interesse econômico e a redução dos impactos ambientais causados pelo modelo de transporte de carga é relevante para a evolução da logística nessa direção (Donato, 2008).

O setor de transportes é um dos setores de mais rápido crescimento em termos de consumo de energia e emissões no Brasil, segundo o World Bank (2011a). Estimativas do MMA - Ministério do Meio Ambiente (2011) previam que o setor de transportes iria emitir cerca de 60% a mais de CO<sub>2</sub> em 2020 em relação ao que foi emitido em 2009, sendo 36% oriundas das frotas de caminhões, 13% de ônibus, 40% de automóveis e 3% de motocicletas.

Nos veículos encontram-se os mecanismos responsáveis por parte considerável das emissões de gases e poluentes. Os motores convencionais a Diesel, típicos de veículos de carga nos EUA, possuem uma média de eficiência térmica de aproximadamente 33%, representando a fração da energia contida no combustível que é convertida em energia útil, medido na saída do escapamento. Os 67% restantes correspondem a perdas devido às fricções no motor e ao calor dissipado no sistema de exaustão ou no sistema de refrigeração do motor (Curry et al., 2012).

Estudos sobre o ciclo de vida do pneu mostram que mais de 92% dos impactos ambientais e em custos causados por pneus de carros de passeio ocorrem durante o seu uso. A proporção significativa de consumo de combustível ligada ao pneu em condições

satisfatórias é estimada em 20% para carros de passeio e 30% para pneus de caminhão (Michelin, 2013).

O uso das tecnologias de rastreamento nos veículos, por outro lado, é uma solução que contribui para a eficiência do transporte. O sistema de rastreamento é utilizado para controlar a movimentação dos veículos no transporte de cargas, de modo a aumentar a segurança e a eficiência na utilização da frota. A coleta de dados do veículo, como velocidades, acelerações e condições do motor através de telemetria, é cada vez mais valorizada no mercado de transporte de cargas (Bordin, 2008).

Os indicadores de desempenho contribuem na gestão de frotas e, por consequência, com a redução dos custos da empresa. Segundo Santos et al. (2012), esses índices são desenvolvidos dentro de cada organização visando aos principais pontos que impactam na sua operação. Há, portanto, uma tendência do mercado de transporte de cargas em adotar tecnologias de otimização de operação e redução de custos que convergem com o paradigma do desenvolvimento sustentável no que tange ao aspecto econômico e ambiental.

A Internet das Coisas, ou *Internet of Things* (IoT) na terminologia inglesa, pode ser definida simplesmente como uma rede de conexão de objetos físicos, de acordo com Macaulay et al. (2015). A IoT marca um período único na vida da Internet e representa para o setor de transporte uma nova oportunidade de ganhos em eficiência no controle de tráfego e na gestão de frotas.

Em um veículo conectado, proposto no estudo de caso do presente artigo, são utilizados dados provenientes de telemetria e M2M que são analisados, manipulados e que podem ser disponibilizados na Web como ferramentas de gestão de frotas. Esses dados são resultados de um sistema de sensoriamento e conexão do veículo e de seus pneus com um servidor acessível on-line.

## DIAGNÓSTICO, PROPOSIÇÕES E RESULTADOS

O veículo (Figura 1), cuja configuração é conhecida no mercado como Super Bitrens ou Bitrenzão, é formado por um cavalo mecânico com dois semirreboques acoplados, que constituem um veículo de 9 eixos, cujo limite de carga segundo DNIT (2012) é de 74 toneladas e o comprimento limitado entre 25 e 30 metros.

O esquema descritivo do sistema de conexão veicular (Figura 2) permite a visualização de como a IoT pode ser aplicada. As relações entre os elementos são representadas pelas linhas indicadas na figura: as cheias representam conexões diretas, através de instalações eletrônicas enquanto as linhas tracejadas representam as conexões indiretas, via rede, para acesso virtual ou intervenção operacional.



Figura 1: Imagem de um Super Bitrem  
Fonte: Biasi Tanques (2017).

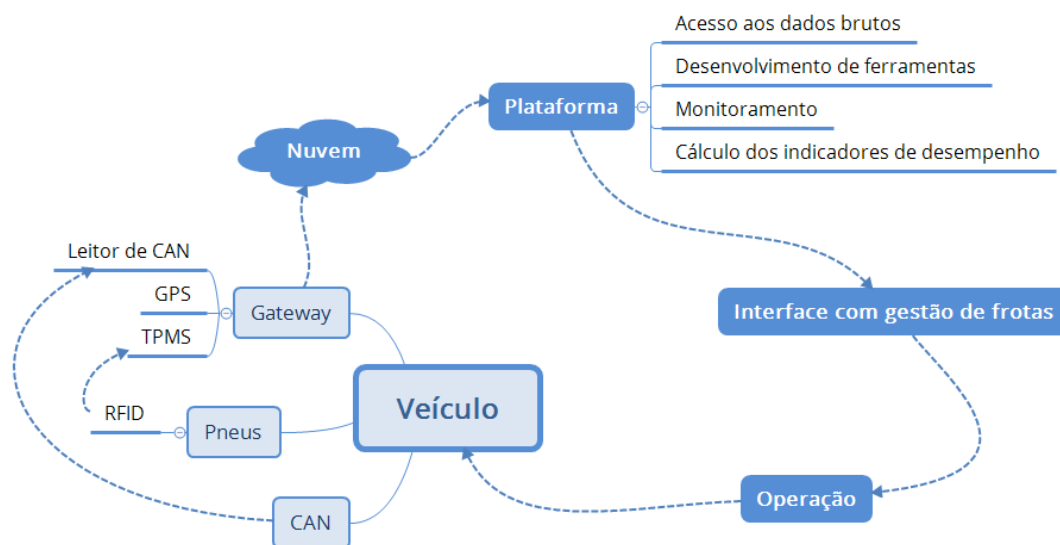


Figura 2 – Sistema descritivo de conexão veicular

O veículo, como elemento central do esquema, é o alvo da instrumentação e das análises e o foco dos cálculos de indicadores de desempenho. Nele encontram-se os elementos independentes indicados na Figura 2 como “Pneus”, “Gateway” e “CAN” (*Controller Area Network*), interligados através de tecnologias como o “RFID” (*Radio Frequency Identification*), o “TPMS” (*Tyre Pressure Monitoring System*) e o “Leitor de CAN”. Além desses elementos, o “GPS” contribui, finalmente para compor o esquema de captação de dados relativos ao veículo.

Os dados pós tratados de um dos veículos conectados do projeto constituem um banco de dados com os parâmetros físicos disponibilizados pelo sistema de conexão, a partir dos quais é possível determinar os principais indicadores de desempenho e ambientais. A Tabela 1 define os parâmetros físicos que são direta e indiretamente medidos ou estimados a partir do sistema do veículo conectado.

Tabela 1 – Classificação dos parâmetros fornecidos pelo veículo

Parâmetro	Medidos diretamente	Medidos indiretamente/estimados
Localização GPS	Antena	-
Pressão dos pneus	Sensores	-
Consumo de combustível	Sensores veiculares conectados ao CAN	-
Velocidade, aceleração veicular	-	Derivados dos dados de localização
Carga	-	Estimativa de carga baseada em dados de funcionamento do motor, velocidades, características do veículo.

#### Indicadores de desempenho:

Segundo Santos et al. (2012), um indicador consiste em uma medida que pode ser utilizada para mostrar e comunicar um conjunto de dados complexos de uma maneira simples, incluindo tendências e evolução ao longo do tempo. Os indicadores de desempenho são índices desenvolvidos dentro de cada organização visando aos principais pontos que influenciam sua operação.

A partir de indicadores de desempenho de frotas relacionados à produtividade, pesquisados por Silva (1999), foi possível estabelecer os indicadores de desempenho associados ao veículo selecionado nesse estudo de caso (Tovar, 2019).

A Tabela 2 apresenta a distância percorrida e o consumo total do veículo para três meses de operação do veículo carregado e descarregado, entre os meses de maio a julho de 2018.

Tabela 2 - Distância percorrida e consumo de combustível totais

Mês	Distância S (km)	[%]	Combustível V (L)	[%]	V/S (L/km)
Maio	8.779		3.866		0,440
carregado	4.159	47%	2.429	63%	0,584
descarregado	4.620	53%	1.437	37%	0,311
Junho	12.291		5.528		0,450
carregado	6.318	51%	3.710	67%	0,587
descarregado	5.973	49%	1.818	33%	0,304
Julho	12.661		5.490		0,434
carregado	5.937	47%	3.446	63%	0,580
descarregado	6.725	53%	2.044	37%	0,304
<b>Total</b>	<b>33.730</b>		<b>14.883</b>		<b>0,441</b>

Observa-se a partir desses resultados o efeito do carregamento sobre o consumo de combustível. Em maio, a proporção de todas as viagens realizadas pelo veículo carregado corresponde a 47% do trajeto total S, mas a 63% do combustível consumido V no período. Tal tendência também se repete nos outros meses. O índice de consumo de combustível (V/S) indica que o efeito da carga pode chegar a 48% de redução quando o veículo transita descarregado.

A Tabela 3 apresenta os resultados totais de carga transportada e o período de operação por mês, a partir dos quais, juntos com dados de distâncias percorridas, foram calculados os seguintes indicadores operacionais relacionados à carga transportada M em toneladas: a média do índice de aproveitamento do veículo (IA), definida como a carga transportada pelo veículo em relação à sua capacidade de carga, a tonelagem média por quilômetro (M/S), a tonelagem em distância percorrida por veículo por hora (M.S/T) e o aproveitamento do tempo de operação por veículo (S/T). Observa-se uma evolução na eficiência de carregamento entre maio a julho de 2018, refletido no aumento dos indicadores mostrados na tabela.

Tabela 3 - Indicadores operacionais relacionados à carga

Mês	Carga M [ton]	Período de operação T [h]	IA [%]	M/S [ton/km]	M.S/T [ton.km/h]	S/T [km/h]
Maio	2.041	562,02	24%	0,23	31.887,04	15,62
Junho	3.972	729,10	38%	0,32	66.952,00	16,86
Julho	4.060	744,30	37%	0,32	69.064,21	17,01
Total	<b>10.073</b>	<b>2.035,42</b>	<b>34%</b>	<b>0,30</b>	<b>166.929,46</b>	<b>16,57</b>

A Tabela 4 apresenta a quilometragem média percorrida por litro, nas condições de veículo carregado ( $S/V_{carga}$ ) e descarregado [ $S/(1-V_{carga})$ ] e a Tabela 5 indica a média mensal das distâncias de transporte do veículo, desde a garagem até o destino final.

A diferença de eficiência operacional do mês de maio de 2018, em relação aos outros meses analisados, pode ser justificada pela paralisação de 10 dias do setor de transportes no Brasil em decorrência da greve nacional de caminhoneiros (BBC, 2018).

Tabela 4 - Quilometragem média por litro transportado e não transportado

Mês	Distância S [km]	S/V <sub>carga</sub> [km/L]	S/(1-V <sub>carga</sub> ) [km/L]
Maio	8.779	0,00791	0,00256
Junho	12.291	0,00569	0,00352
Julho	12.661	0,00574	0,00333
Total	<b>33.730</b>	<b>0,00616</b>	<b>0,00315</b>

Tabela 5 - Distância até o ponto de entrega por mês

Mês	Média das distâncias ao destino final [km]
Maio	801,76
Junho	807,93
Julho	814,67
Média	<b>808,00</b>

### Indicadores Ambientais

Aplicando-se os fatores de emissão de caminhões pesados para cada tipo de poluente, definidos a partir de metodologias do MMA (2014), tem-se os seguintes valores de emissão, apresentados na Tabela 6, para metano CH<sub>4</sub> (0,06 g/km), material particulado devido ao desgaste de pneus e freios (0,59 g/km), material particulado devido ao desgaste da pista (0,038 g/km), dióxido de carbono CO<sub>2</sub> (2603 g/L), óxido nitroso N<sub>2</sub>O (0,03 g/km), e os fatores de emissão para motores Diesel: monóxido de carbono CO (0,40 g/L), óxidos de nitrogênio NO<sub>x</sub> (0,04 g/L), hidrocarbonetos não-metano NMHC (5,61 g/L) e material particulado proveniente da queima de combustível Mp<sub>comb</sub> (0,05 g/L).

Tabela 6 - Indicadores ambientais

Substância		Maio	Junho	Julho	Total
Metano [kg]	CH <sub>4</sub>	0,53	0,74	0,76	2,02
Material particulado [kg]	Mp <sub>pneus e freios</sub>	5,18	7,25	7,47	19,90
Material particulado [kg]	Mp <sub>pista</sub>	0,33	0,47	0,48	1,28
Dióxido de carbono [ton]	CO <sub>2</sub>	22,85	31,99	32,96	87,80
Óxido nitroso [kg]	N <sub>2</sub> O	0,26	0,37	0,38	1,01
Poluentes CO [kg]	CO	3,55	4,96	5,11	13,62
Poluentes NO <sub>x</sub> [kg]	NO <sub>x</sub>	0,35	0,50	0,51	1,36
Poluentes NMHC [kg]	NMHC	49,28	68,99	71,07	189,34
Poluentes Mp <sub>comb</sub> [kg]	Mp <sub>comb</sub>	0,43	0,61	0,62	1,66

### CONCLUSÕES

Este trabalho permitiu demonstrar a utilização de dados coletados de um sistema de conexão em veículo pesado para cálculo de indicadores de desempenho de frotas,

estabelecidos a partir de pesquisa sobre critérios do setor de transporte, e indicadores ambientais, definidos por meio da aplicação de fatores de emissão de gases de efeito estufa e poluentes em relação aos dados de consumo de combustível e distâncias percorridas pelo veículo em cada mês de análise. A viabilidade de aplicação do sistema de conexão em larga escala, no mercado, não foi considerada no presente estudo em caráter piloto.

Como resultado, é possível considerar que, do ponto de vista operacional, o uso dos dados captados atende grande parte da necessidade de informações para cálculo dos indicadores adotados pelo setor. Mesmo que a aplicação da tecnologia do veículo conectado não atenda diretamente à totalidade dos indicadores desejados, as diferentes bases de dados disponíveis em uma empresa de transportes podem complementar as informações e serem integradas em um mesmo ambiente on-line.

Por outro lado, o cálculo dos indicadores ambientais, a partir dos fatores de emissão aplicados aos dados coletados pelo veículo, mostrou uma nova percepção sobre a pegada ambiental de um veículo em operação. A constatação desta afirmação se deu na medida que foi possível estabelecer, por exemplo, a relação entre emissões conforme as condições de carregamento do veículo. Nesse aspecto, a IoT pode contribuir com ações para o desenvolvimento sustentável, como políticas internas da empresa, incentivos públicos e campanhas para a redução do impacto ambiental do setor de transportes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BBC. **Greve dos caminhoneiros: a cronologia dos 10 dias que pararam o Brasil.** Disponível em : <<https://www.bbc.com/portuguese/brasil-44302137>>. Acesso em : 7 de mar. 2018

BIASI TANQUES. **Super Bitrem Alumínio.** Video publicado no canal do YouTube Biasi Tanques em 15 de março de 2017. Disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=3dgUYPL0Aq0>>. Acesso em : 20 de mai. 2018.

BORDIN, E. **Análise das empresas transportadoras de carga com ênfase na tecnologia de rastreamento.** Rio de Janeiro, 2008. Dissertação de Mestrado – Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

CURRY, T.; LIBERMAN, I.; HOFFMAN-ANDREWS, L., LOWELL, D. **Reducing aerodynamic drag & rolling resistance from heavy-duty trucks:** summary of available technologies & applicability to Chinese trucks. Manchester, 2012. Submitted to International Concil on Clean Transportation, prepared by M.J.Bradley & Associates LLC.

DNIT. **Quadro de fabricantes de veículos.** Diretoria de Infraestrutura rodoviária. 2012. Documento disponível em < <http://www.dnit.gov.br/download/rodovias/operacoes-rodoviaras/pesagem/qfv-2012-abril.pdf>>. Acesso em : 21 de mai. 2018.

DONATO, V. **Logística Verde: Uma abordagem sócio-ambiental.** Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2008, 15p.

IUCN - INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE AND NATURAL RESOURCES (IUCN). **World Conservation Strategy:** living resource conservation for sustainable development. [S.l.:s.n], 1980.

MACAULAY, J.; BUCKALEW, L.; CHUNG, G. **Internet of Things in Logistics.** A collaborative report by DHL and Cisco on implications and use cases for the logistic industry. Troisdorf, Germany, 2015.

MICHELIN, **Michelin performance and responsibility.** Neuilly-sur-Seine, France. 2013. 148p.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **1º inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários**. Relatório final. [S.l.:s.n], 2011.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários 2013** : Ano base 2012. Relatório final. [s.l.]. 2014. Disponível em : <<http://www.mma.gov.br/mma-em-numeros/emissoes-veiculares>>. Acesso em : 14 de nov. 2018.

SANTOS, G.; NUNES, R.; ASSIS, C.; CAVALCANTE, E. ; ADRIANO, N. **Os benefícios da utilização de indicadores de desempenho na gestão de frota para controle de custos logísticos de transporte** – o caso de uma indústria de alimentos. In: XXXII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Bento Gonçalves, RS, Brasil. 2012.

SILVA, A. L. M. **Indicadores de desempenho no transporte rodoviário de cargas**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, SP. 1999.

TOVAR, L. G. **O veículo conectado: perspectivas sobre a aplicação da internet das coisas no transporte de carga rodoviária**. Dissertação de mestrado profissional em Engenharia Urbana e Ambiental, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: [http://www.urb.puc-rio.br/dissertacao/1613354\\_2019\\_Completo\\_%20pdf.pdf](http://www.urb.puc-rio.br/dissertacao/1613354_2019_Completo_%20pdf.pdf) Acesso em: 10/08/2019

WORLD BANK. **Brazil Green Freight Transport Report**: World Bank NLTA: "Mainstreaming Green Trucks in Brazil". [S.l.:s.n], 2011a.