

## **e.coPILOT / e.coPORTAL**

Peixoto, Mário<sup>1</sup>;

1 Siemens Mobility, Unipessoal Lda., Rua Irmãos Siemens nº1,

---

A poupança de energia associada à circulação de composições nos caminhos de ferro assume uma importância crescente a nível internacional. O aumento do preço dos combustíveis fósseis e as necessidades crescentes de eletricidade têm aumentado os custos operacionais de transportes de mercadorias e passageiros.

A Siemens Mobility desenvolveu uma solução/ferramenta de otimização de consumo, agnóstica relativamente à fonte de energia. A solução é capaz de gerar um conjunto de recomendações encadeadas, em conformidade com o trajeto predefinido, tendo em consideração o contexto adjacente.

Com este artigo pretende-se apresentar os trabalhos desenvolvidos neste âmbito, suportadas em algoritmos de *machine learning* bem como os resultados das duas provas de conceito implementadas.

---

**Palavras-chave:** Consumos energéticos; Leitura e transmissão de dados; *Machine Learning*;

# 1 Introdução

A expansão de redes ferroviárias tem-se traduzido em vantagens significativas. Todavia, os elevados níveis de consumo energético registados, bem como os custos que estes representam, são uma das principais preocupações globais.

Para ultrapassar este desafio têm sido encetadas várias iniciativas que visam promover a poupança de energia, sendo a abordagem mais explorada aquela que promove a condução eficiente por parte dos maquinistas, visto que não requer alterações sobre as infraestruturas, evitando a realização de grandes investimentos. Com efeito, estudos recentes [3, 4] demonstram que o comportamento do maquinista, no que respeita à sua forma de condução, pode representar um impacto significativo no consumo de energia, ao longo dos percursos de comboio realizados.

Adicionalmente as oportunidades que a indústria de IoT (*Internet of Things*) e as tecnologias de comunicação levantam, permitem a exploração de mecanismos de Inteligência Artificial que alavancam a exploração destas iniciativas.

Enquanto tecnóloga apostada numa visão de sustentabilidade, a Siemens Mobility apostou no desenvolvimento de um projeto que viesse contribuir para esta temática nomeadamente através da conceção e desenvolvimento de uma solução/ferramenta de otimização de energia que emite recomendações baseadas no consumo energético registado em tempo real, ou quase real.

Face às soluções comumente encontradas no mercado esta solução utiliza uma abordagem distinta uma vez que as iniciativas que têm sido desenvolvidas baseiam-se na criação e aplicação de algoritmos que são alimentados por dados provenientes de variáveis previamente definidas.

Esta abordagem inovadora levanta outra temática importante e que se relaciona com a da necessidade de uma reconciliação correta de dados de consumo, entre a faturação emitida pela entidade gestora e os consumos efetivos efetuados pelos operadores da rede ferroviária.

Com efeito não é conhecida uma ferramenta capaz de recolher dados de energia efetivamente consumida em tempo real, ou quase real, existindo regulamentação que obriga a que se faça agrupamento da energia consumida apenas a cada 5 minutos.

Assim, este projeto foi assim desenvolvido sob duas dimensões:

- i. Redução dos consumos de energia: o objetivo passa por conceber novas metodologias que permitam auxiliar os maquinistas no processo de otimização de consumos energéticos, através da implementação de sistemas capazes de gerar sugestões de condução, em tempo real, que contribuam nesse mesmo sentido;
- ii. Leitura e transmissão de dados: o objetivo passa por desenvolver formas de controlo e gestão eficientes relacionadas com a distribuição de energia, confrontado e determinando, com precisão, as diferenças existentes entre o consumo real dos operadores e o consumo estimado.

## 1.1 Redução do consumo de energia: e.coPILOT

Como referido a definição de estratégias de condução eficientes a adotar pelos maquinistas, tem-se revelado numa das abordagens mais comuns para reduzir o consumo e custo energético, visto que estas não requerem alterações sobre as infraestruturas, evitando a realização de grandes investimentos *à priori*.

Será assim necessário entender a ação do maquinista para poder proceder com recomendações pelo que se começou por elencar as fases de condução:

- **Fase de aceleração (*Acceleration-phase*):** compreende o arranque da locomotiva, onde é empregue a força de tração máxima no ponto de partida até atingir a velocidade ideal para passar para a próxima fase;
- **Fase de retenção de velocidade (*Speed-hold-phase / Cruising-phase*):** consiste em manter velocidade constante atingida na fase anterior;
- **Fase de inércia (*Coasting-phase*):** que consiste em usufruir da velocidade adquirida anteriormente, sem necessidade de utilizar força de tração nem de travagem.

- **Fase de travagem (*Braking-phase*):** consiste na redução de velocidade até igualar a zero, no ponto final da viagem ou na paragem em estações.

Com base nestas ações têm-se definido procedimentos e estratégias de condução ecológicas, tais como as que se seguem [5]:

- **Estratégia de *Maximum Coasting* (MC):** consiste na aplicação da velocidade máxima até um determinado ponto ótimo, e, a partir daí, interromper a aceleração conforme necessário, tirando partido da inércia obtida. A este fenómeno dá-se o nome de “coasting”;
- **Estratégia de *Reduced Maximum Speed* (RMS):** exclui o efeito de “coasting” e opta por um sistema de “cruising”, ou seja, mantém uma velocidade cruzeiro ideal durante toda a viagem;
- **Estratégia de *Energy-Efficient Train Control* (EETC):** combina as duas estratégias anteriores, estimando a melhor combinação entre as duas, para cada trajetória elaborada pelo comboio.

A estratégia EETC tem sido a mais visível. Estudos realizados indicam uma poupança de energia, na ordem de 20 a 30%, ao aplicar a EETC num “Driver Advisory System” (Sistema de Aconselhamento de Condução) [9, 10]. Através deste sistema, a poupança é obtida na sequência de recomendações enviadas para os maquinistas, ou seja, pela disponibilização de indicações de procedimentos de condução, em tempo real.

O objetivo d EETC é minimizar o consumo de energia, através da combinação de ações como a aceleração máxima, “cruising”, “coasting” e travagem máxima, consoante as necessidades verificadas em determinado momento do percurso [3, 6, 7].

Neste contexto o desafio pretende-se na determinação da sequência ideal dos regimes de condução mencionados, tendo em conta o contexto e a tipologia do material circulante [8].

A solução/ferramenta agora preconizada define uma estratégia de condução que se baseia essencialmente na formulação e aplicação de algoritmo alimentado pela informação proveniente de variáveis previamente definidas tais como:

- i) Localização geográfica (GPS);
- ii) Sinalização;
- iii) Comprimento do comboio;
- iv) Peso e
- v) velocidade não vetorial.

Os trabalhos desenvolvidos visaram o ensaio de algoritmos de *machine learning* de forma a criar um motor de recomendações que possibilitasse a aplicação de estratégias de condução eficientes, numa ótica de otimização de consumos, tendo em conta:

- (i) Qual o momento certo para acelerar
- (ii) Qual deve ser a intensidade de aceleração
- (iii) Em que momento devo parar de acelerar
- (iv) Que velocidade devo manter
- (v) Qual a intensidade certa a aplicar na travagem

## 1.2 Leitura e transmissão de dados: e.coPORTAL

Conforme referido anteriormente, desenvolveu-se uma segunda vertente, relacionada com a problemática referida acerca da necessidade de uma reconciliação correta de dados de consumo, entre a faturação emitida pela entidade gestora e os consumos observados, efetuados pelos operadores da rede ferroviária.

O sistema elétrico de uma linha ferroviária é composto pelos subsistemas de produção, transporte e distribuição de energia, até às subestações de tração. Por sua vez, estas funcionam como ponto de alimentação e distribuição de energia elétrica às catenárias, fazendo a transformação do nível de tensão de forma a poder ser utilizado pelos comboios.

O apuramento da energia consumida pelos comboios em determinada área é da responsabilidade do gestor da infraestrutura, o que pode representar um desafio uma vez que se regista uma ausência de sistemas embarcados fidedignos que permitam a recolha de consumos de dados de consumo geolocalizados a partir dos comboios.

Esta matéria está regulada pelo regulamento de Execução (UE) 2018/868, de 13 de junho de 2018, que altera os Regulamentos 1301/2014 e 1302/2014, no que respeita às disposições sobre o sistema de medição da energia e o sistema de recolha de dados energéticos embarcados. Assente na Diretiva 50463 fica patente que os dados energéticos produzidos pela Função de medição de energia (FME) devem ter um período de referência de 5 minutos.

Esta diretiva foi criada exatamente para responder a este desafio, contudo a sua implementação ainda se encontra muito aquém do expectável. Este desfazamento deve-se, essencialmente, ao custo do sistema aliado ao esforço de implementação do mesmo em equipamentos/comboios em que alguns dos casos têm mais de 30 anos.

Este, é um problema que a globalidade dos gestores de infraestrutura enfrentam, onde o modelo atual tem dificuldade em considerar dissipações/perdas ocorridas no fluxo, assumindo que toda a energia injetada na rede é consumida pelos comboios, quando, na verdade, existem valores residuais de energia que não é efetivamente consumida.

Desta forma, pretende-se eliminar as falhas de mercado observadas e ao mesmo tempo contribuir para uma maior transparência e eficiência na distribuição de energia consumida no setor.

Para isso propõe-se a criação de um portal unificado com a capacidade de reportar sobre a energia consumida a cada passagem de comboio em determinada área.

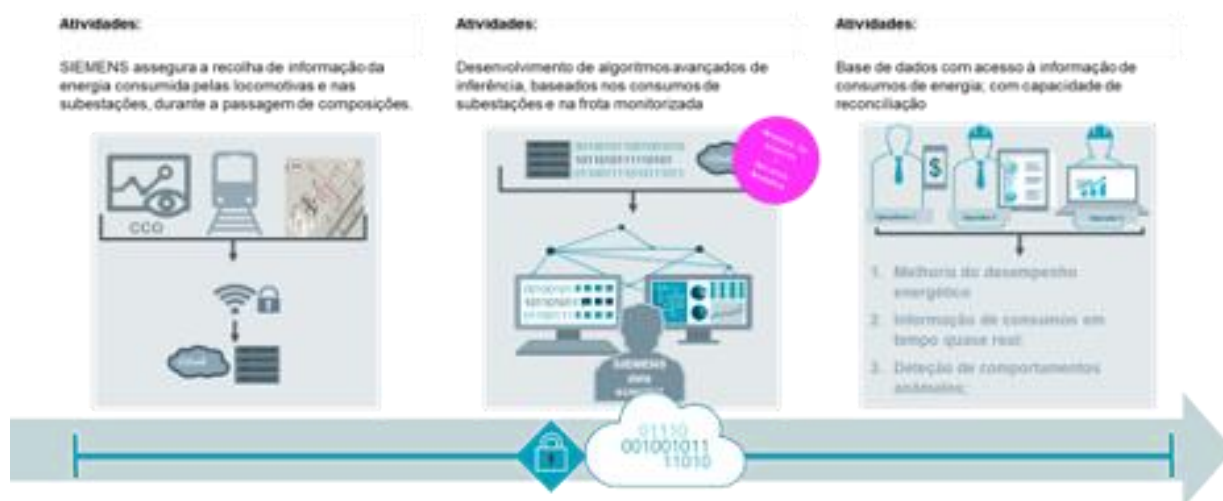


Figura 1 – Arquitetura da solução eco portal

A introdução da informação de dados recolhidos a partir de FME – referido anteriormente - contribui para o aumento da precisão dos algoritmos na medida em que estabelece uma base comparativa para o modelo de observações registado “track-side”, a partir da energia registada nas subestações de tração.

## Conclusões

Não sendo ainda possível demonstrar os resultados finais, os trabalhos desenvolvidos até ao momento tem permitido uma continuação evolutiva na testagem realizada a nível de desenvolvimento experimental e à modelação algorítmica, importantes para determinação das diversas componentes conceptualizadas.

## Referências Bibliográficas

- [1] Paula Fraga-Lamas, Tiago M. Fernández-Caramés e Luis Castedo, 2017. Towards the Internet of Smart Trains: A Review on Industrial IoT-Connected Railways
- [2] Qing Gu, Tao Tang, Yong-duan Song, 2010. Energy-saving Operation of Railway Transportation Systems
- [3] Albrecht, A.R., Howlett, P.G., Pudney, P.J., Vu, X., Zhou, P., 2016. The key principles of optimal train control - part 1: formulation of the model, strategies of optimal
- Albrecht, A.R., Howlett, P.G., Pudney, P.J., Vu, X., Zhou, P., 2016. The key principles of optimal train control - part 2: existence of an optimal strategy, the local energy minimization principle, uniqueness, computational techniques
- [4] Lu, S., Hillmansen, S., Ho, T., Roberts, C., 2013. Single-train trajectory optimization
- [5] Gerben M. Scheepmaker et al., 2019. Comparing train driving strategies on multiple key performance indicators
- [6] Liu, R. R., Golovitcher, I. M., 2003. Energy-efficient operation of rail vehicles. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 37 (10), 917–932
- [7] Khmelnitsky, E., 2000. On an optimal control problem of train operation. *IEEE Transactions on Automatic Control* 45 (7), 1257–1266
- [8] Gerben M. Scheepmaker et al., 2016. Review of energy-efficient train control and timetabling
- [9] Franke, R., Terwiesch, P., Meyer, M., 2000. An algorithm for the optimal control of the driving of trains. In: *Proceedings of the 39th IEEE Conference on Decision and Control*. Vol. 3. pp. 2123–2128
- [10] ON-TIME, 2014a. DAS on-board algorithms. Report D6.3, ON-TIME project