

Automação da análise operacional de caixas-pretas

Mariana Verbena Casella^{1*}, Bernardo Ramos De Abreu², Sergio Luiz Da Silva Cassemiro³, Samuel Pinheiro⁴,

^{1 e 3} *Gerência de Normatização e Eficiência Operacional, MRS Logística S/A, Av. Brasil, 2001, 36036-010, Juiz de Fora/MG*

² *Gerência de Planejamento Estratégico e Gestão de Resultados, MRS Logística S/A, Av. Brasil, 2001, 36036-010, Juiz de Fora/MG*

⁴ *Gerência de Operações RJ, MRS Logística S/A, Av. Brasil, 2001, 36036-010, Juiz de Fora/MG*

e-mail: mariana.verbena@mrs.com.br, bernardo.abreu@mrs.com.br, sergio.cassemiro@mrs.com.br, samuel.pinheiro@mrs.com.br

RESUMO

O objetivo do Sistema de Informação da Condução (SIC), desenvolvido pela MRS Logística S/A, é o de suportar a melhoria contínua do processo de condução com uma operação cada vez mais segura e eficiente. O sistema realiza a avaliação das viagens de trens por meio de registradores de eventos das locomotivas e passou por uma reestruturação em 2019, através da qual ganhou agilidade nas parametrizações e possibilidade de expansão com maior autonomia dos usuário nas melhorias e edições dos parâmetros. A nova versão traz a possibilidade de os usuários criarem regras e rotinas de avaliação de viagens com uma interface intuitiva. Além disso, é possível testar e simular essas regras de ocorrências geradas em base de dados reais e, avaliando os efeitos das ocorrências, e ajustá-las antes da implantação definitiva. A nova versão agrega categorias de regras por Segurança, Eficiência Energética/Produtividade e Melhoria de Processos. Nessa reestruturação, vinte e uma novas ocorrências já foram desenvolvidas e implantadas, o que ampliou a capacidade de gestão da operação e dos ativos.

Palavras-Chaves: Análise Automática de Registradores de Evento de Locomotivas, Eficiência Energética, Segurança Operacional, Condução de Trens.

1. INTRODUÇÃO

As ferrovias buscam constantemente uma operação mais segura e sustentável. Melhorias na segurança operacional do trem, são prioridades no segmento ferroviário e no Governo Federal. Algumas medidas adotadas reduzem os riscos de maneira mais efetiva do que outras. Portanto, entender a importância relativa das diferentes causas desses riscos é fundamental na busca pela melhoria da segurança [1].

De modo a criar um futuro também mais sustentável, ferrovias estão desenvolvendo e implementando novas tecnologias, refinando

suas práticas operacionais. Um exemplo, é a significativa melhoria em Eficiência Energética observada nos últimos anos [2].

A busca por análise e processamento dos dados ganha cada vez mais espaço e valor em todos os setores. Com o processo de condução de trens não poderia ser diferente, pois reflete diretamente na avaliação do consumo de combustível, tempo de viagem, aproveitamento dos ativos e maquinistas culminando em redução de custo e ganho de capacidade de transporte. Por esse motivo, os dados dos registradores de eventos das locomotivas têm extrema importância nos processos de operação e manutenção

ferroviária.

Partindo deste cenário, a MRS Logística S/A, através da integração de sistemas e da identificação de parâmetros adequados de condução, criou o Sistema de Informação da Condução (SIC) em 2012. Recentemente, o sistema passou por uma reestruturação (2019), que trouxe um grande grau de liberdade ao usuário e que será a temática deste trabalho.

2. O SISTEMA DE INFORMAÇÃO DA CONDUÇÃO - SIC

A base e os dados essenciais para o trabalho realizado pelo SIC são advindos de arquivos gerados pelo registrador de eventos, um componente da locomotiva, sendo um equipamento embarcado, o qual é responsável pelo registro dos dados e utilizado para monitorar e gravar cronologicamente as operações realizadas. [2].

Os registradores de eventos trazem informações dos comandos dados pelo maquinista nas locomotivas como utilização dos freios, aceleração, consumo de combustível, velocidade, acionamento de buzina e etc. Com base na localização do trem e dos veículos da composição é possível analisar padrões nas operações realizadas e achar pontos de melhoria e traçar o perfil dos maquinistas.

Os downloads das informações dos registradores de eventos são feitos de forma automática por uma rede ao longo da malha da MRS e armazenados em um banco de dados temporal, separados por locomotiva.

Uma outra base de registro de dados de trens, permite ao sistema cruzar informações sobre localização, composição do trem, maquinista, horário, tempo de viagem e outras.

O SIC, faz uma varredura automática no banco de dados que armazena todas estas informações das viagens e identifica casos de operações realizadas fora dos padrões determinados (chamados de ocorrências), e que levam à riscos ou ineficiência operacional. A partir da análise dos dados gerados, é possível identificar as oportunidades de melhoria para cada maquinista, região, tipo de trem. ISSO permite trabalhar na evolução operacional do maquinista diretamente nos pontos de dificuldade com treinamentos, feedbacks e viagens acompanhadas.

O fluxo macro dos processos realizados até a geração de uma ocorrência é o que está descrito na Figura 1.

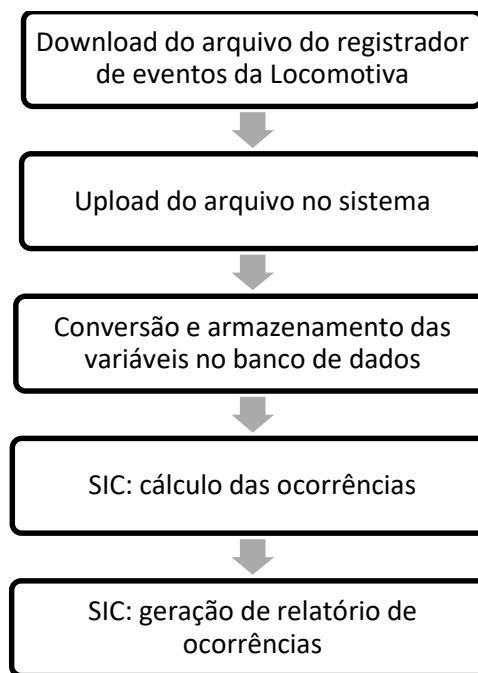


Fig.1 - Processo de geração de relatório no SIC
Fonte: [4]

3. METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO

O SIC teve o início do seu desenvolvimento em 2011, com seu planejado e construção realizados exclusivamente por profissionais da MRS Logística S/A, e está consolidado desde 2012 na empresa.

O intuito do sistema era o de elevar o número de avaliações de condução dos maquinistas, automatizando-as e tornando-as mais imparciais, homogêneas e eficientes. [3]

Na primeira versão do sistema as ocorrências eram desenvolvidas, testadas e implantadas pela área de Tecnologia da Informação (TI), o usuário apenas especificava o que precisava ser desenvolvido e defendia verba ou homem-hora para atendimento da solicitação.

Os problemas desse processo eram o de que as regras das ocorrências eram definidas pela TI, qualquer alteração necessária precisaria de nova defesa e também a demora nos testes e na implantação.

A evolução do SIC se fez necessária para que o usuário pudesse especificar, desenvolver, testar e implantar as ocorrências. Reduzindo, com isso, custos e prazos.

3.1. Metodologia utilizada e desafios

O projeto de criação do SIC 2.0 teve como base a adoção de metodologias ágeis, principalmente o Scrum. O objetivo foi o de reduzir perdas de tempo e recursos, garantir agilidade e adaptabilidade da ferramenta ao

usuário final do sistema.

Durante todo o processo de implementação do sistema, as áreas envolvidas nos testes das funcionalidades definiram formas baseadas no *framework* para identificação de falhas ou pontos de melhorias no sistema. [5] O escopo do projeto e as entregas a serem realizadas foram listadas, gerando o *product backlog*. Este foi dividido e tratado em reuniões baseadas no conceito *sprint*, que são reuniões rápidas para alinhamentos, E definição dos *backlogs* a serem atendidos, buscando assim garantir o funcionamento do produto a ser entregue, dividindo o escopo total, garantindo maior agilidade no atendimento das demandas e organização das entregas, conforme estrutura demonstrada na Figura 2. [6]

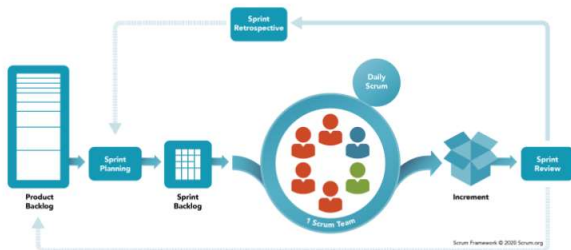


Fig. 2: The Scrum Framework
Fonte: [6]

A metodologia permitiu que o sistema fosse testado em “pacotes” de entregas definidos pela T.I e a Engenharia de Operações, resultando no objetivo do projeto com a garantia da qualidade estabelecida durante o planejamento.

Dessa forma, foi possível desenvolver um sistema com as definições pré-estabelecidas e com algumas melhorias identificadas durante a implementação dos “pacotes”, um dos benefícios da metodologia utilizada.

Houve divisão da equipe de desenvolvimento do sistema e da equipe de testes, em funções pré-determinadas garantindo agilidade nas resoluções. A organização e utilização constante do método contribuíram para reduzir os desafios e ampliar os benefícios, além de trazer ótimos resultados ao projeto e engajamento da equipe.

3.2. Evolução do Sistema – SIC 2.0

A realização das análises é feita através de algoritmos pré-definidos que buscam padrões de operação distantes das boas práticas e regras operacionais. As não conformidades são chamadas de ocorrências pelos usuários. O SIC disponibiliza para os inspetores

(liderança técnica dos maquinistas) um relatório dos maquinistas sob sua orientação, com todas as viagens e possíveis ocorrências geradas. O inspetor julga se a ocorrência procede ou não. Cada ocorrência tem uma pontuação, que gera uma nota para a viagem e conseqüentemente para o desempenho do maquinista. O inspetor, assim, aponta a necessidade de orientação ao ponto de dificuldade.

Um grande limitador da ferramenta era o fato de possuir algoritmos travados, cadastrados diretamente no código-fonte do sistema, dificultando alterações e criação de novas lógicas, pois necessitava mão de obra de TI específica, desenvolvedores de sistema e investimentos constantes para as melhorias. Quaisquer melhorias necessitavam de tempo de implantação com prazos longos e dificuldade de entendimento do time técnico para especificar e testar as implantações. Isso não atendia às necessidades da área operacional da MRS.

Com o SIC 2.0, os próprios usuários são capazes de criar, configurar e testar, em base de dados real, seus algoritmos. Isso ocorre sem a necessidade de linguagens de programação e especificações detalhadas, de forma altamente flexível e ágil.

O sistema possui três páginas: a de configurações, a dos relatórios e a do simulador.

A primeira é a que permite a criação e edição de ocorrências. É possível editá-las, habilitá-las e desabilitá-las, testá-las, visualizá-las e excluí-las. Além das ações, a página também contém as informações de data de criação/edição e hora de criação/edição. A figura 3 ilustra a interface e exemplifica um layout.

Nome	Base	Natureza	Abstrativo
Alvo Branco da Corrente	Base SGC	Segurança	Abstr
Alvo Rotagem	Base SGC	Segurança	Abstr
Chave PCB / Parafusado	Base SGC	Segurança	Abstr
Chave PCB / Subentenda	Base SGC	Segurança	Abstr
Chave PCB/Ator	Base SGC	Segurança	Abstr
Corrente - Tempo de Exposição na Falha Temporizada	Base SGC	Segurança	Abstr
Emergência com o item em movimento	Base SGC	Segurança	Abstr
Freio automático / Freagem Brusca	Base SGC	Segurança	Abstr
Freio em alito com o item parado	Base SGC	Segurança	Abstr
Índice de Desaceleração (Freagem)	Base SGC	Segurança	Abstr
Power Braking	Base SGC	Segurança	Abstr

Fig. 3 – Tela configuração ocorrências
Fonte: SIC – MRS

Ao montar uma ocorrência é possível selecionar vários cenários, parametrizar dados como por exemplo: o modelo da locomotiva, o tipo de trem, a posição da

locomotiva, a faixa de peso do trem, os pátios a serem considerados ou desconsiderados no itinerário, lotação do trem, diferenciação por natureza da ocorrência (diesel, manutenção, tempo e segurança), etc.

Essa parametrização é realizada no chamado “Gatilho”, que é definido como o momento inicial da ocorrência. O sistema só irá iniciar a verificação da ocorrência, após identificar que a lógica foi atendida. Para o “Gatilho” é possível selecionar qualquer das variáveis disponíveis no registrador de eventos das locomotivas e para a ocorrência é possível determinar onde será realizada a marcação da ocorrência para verificação no gráfico, conforme figura 4.

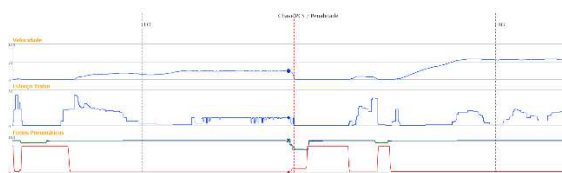


Fig. 4 – Gráfico marcação ocorrência
Fonte: SIC – MRS

O sistema permite também correlacionar mais de uma ocorrência, determinar o tempo entre marcações e realizar filtros para não gerar marcação em mais de uma locomotiva de um mesmo prefixo de trem, por exemplo.

Outra funcionalidade muito importante adquirida com essa nova versão foi o simulador de ocorrências, que possibilita testar ocorrências criadas com base no histórico de viagens. Com ele é possível verificar em dados passados, se uma ocorrência recém criada seria marcada e testar se a marcação estaria de acordo com o desejado. Função útil para testar viagens já realizadas e também para avaliar se os “gatilhos” e parâmetros considerados para tal ocorrência estão configurados corretamente. Tal funcionalidade possibilita parametrizar a simulação de acordo com o período desejado, o tipo de locomotiva, o local a ser verificado, dentre outras possibilidades, e possui uma grande capacidade de simulação de várias viagens ao mesmo tempo, para mais de uma ocorrência, o que acelera a velocidade dos testes e das validações.

3.3. Resultados obtidos com a evolução

Antes das melhorias implementadas, o sistema realizava o monitoramento de 13 ocorrências, todas elas com foco em segurança ferroviária.

Sendo elas:

1. Alívio Brusco da Corrente do Motor de Tração;
2. Alívio de Rodas;
3. Chave PCS/ Penalidade;
4. Chave PCS/ Sobrevelocidade;
5. Chave PCS/ Alertor;
6. Exposição da corrente do motor de tração na faixa temporizada;
7. Emergência com o trem em movimento;
8. Frenagem Brusca;
9. Freio em alívio com o trem parado;
10. Indício de desatenção
11. Tração com freio aplicado
12. Redução de velocidade não atingida
13. Velocidade acima da máxima

Desde a implantação da nova versão do sistema, foram criadas 21 novas ocorrências, com focos variando em segurança operacional, consumo de Diesel e estado de conservação das locomotivas (manutenção).

Este aumento da abrangência de atuação ampliou a capacidade de gestão dos times da Operação e Manutenção, aumentando a possibilidade de atuação do sistema trabalhando novos fatores que o sistema anterior não permitia.

Para cadastro das novas ocorrências, inicialmente foram levantados dados ao longo de toda a malha MRS, juntamente com os Especialistas de cada região. Este levantamento permitiu encontrar pontos específicos de verificação para criação dos parâmetros das novas ocorrências, focados principalmente no consumo de Diesel e na preservação dos ativos da empresa.

3.4. Ocorrências geradas com foco em Eficiência Energética

Foram geradas ocorrências com foco em redução no consumo de combustível, como as listadas:

1. Circulação muito abaixo da máxima
2. Isolamento de locomotivas em pontos estratégicos;
3. Técnicas de condução à deriva;
4. Velocidade ideal nas cristas (transição de inflexões ascendentes para descendentes);
5. Velocidade ideal nos vales (transição de inflexões descendentes para ascendentes);

Destacam-se nesta lista as ocorrências de

velocidade ideal em vale e crista, caracterizando o vale como quando o maquinista não atinge a velocidade ideal estabelecida para estes pontos do trecho. A velocidade nestes locais é de extrema importância para que ocorra um melhor aproveitamento da gravidade para impulsionar o trem e poupar a aceleração e consumo de diesel além de uma condução mais segura e suave. O novo software permite configurar as variáveis para gerar os gatilhos por regiões de localização dos locais, de forma que consiga validar a operação de transição monitorando a velocidade do trem, aceleração, frenagem e a duração das configurações corretas.

3.5. Ocorrências geradas com foco em Manutenção

Uma oportunidade gerada pela evolução do sistema também foi a de criar ocorrências para verificação de desgaste de ativos, de operações que possam gerar necessidade de manutenção de locomotivas e/ou vagões, como:

1. Aplicação do freio automático (MFA¹) antes da aplicação do freio dinâmico;
2. Retirada do esforço do dinâmico antes da aplicação do freio automático (MFA);
3. Split Service;
4. Transição correta do acelerador para freio dinâmico;
5. Transição correta do freio dinâmico para o acelerador;
6. Utilização correta das técnicas de aceleração e desaceleração;
7. Velocidade inicial correta na aplicação do freio dinâmico.
8. Uso incorreto do freio independente (MFI²);
9. Parada correta em trecho descendente;
10. Partida correta em trecho descendente;

Destaca-se nesta lista as ocorrências de Uso incorreto do freio independente (MFI), que consiste em verificar o uso do freio pneumático das locomotivas durante a aplicação do freio automático (MFA) para evitar choques no trem. Esses choques ao longo dos anos geram o desgaste prematuro dos aparelhos de choque e tração (engates) pelo excesso de compressão e levam à

casos de quebras de engate ou sobrecarga das oficinas.

3.6. Ocorrências geradas com foco em Segurança

Além das ocorrências de segurança já existentes na versão anterior do sistema, e que foram mantidas, foram geradas também as listadas a seguir:

1. Configuração correta do MFA;
2. Emergência voluntária;
3. Uso do freio independente (MFI) após emergência involuntária;
4. Uso correto do sino;
5. Variação de sentido;
6. Teste de marcha;

Destaca-se, nesta lista, a ocorrência de teste de marcha, que consiste na verificação da realização da aplicação do freio pneumático dos vagões para verificar a eficiência do freio da composição após a partida do trem em determinados locais. Um exemplo de local é a preparação para a descida da Serra do Mar após partida do pátio de Barra do Pirai (RJ).

4. RESULTADOS OBTIDOS

As ocorrências o SIC são geradas para todas as viagens e analisadas por inspetores dos estados que compreendem a malha ferroviária da MRS, sendo Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo, para que as marcações sejam justificadas ou validadas, baseadas em análises gráficas.

No caso de validações, as ocorrências são utilizadas para feedback com foco em desempenho dos maquinistas em relação à viagem realizada, orientação de como deveriam proceder e verificação da necessidade de treinamento. Ocorrências justificadas são geradas quando o motivo da marcação não for causado pela condução do maquinista. Porém, um número alto de justificadas pode indicar necessidade de ajuste nos parâmetros da ocorrência.

A criação das ocorrências foi realizada de acordo com as particularidades de cada trecho, de cada operação a ser realizada em cada trem, o que levou a um acompanhamento consistente e constante das viagens e permitiu o aprimoramento dos parâmetros, além da inclusão de novos trechos e características.

¹ MFA = Manipulador de Freio Automático

² MFI = Manipulador de Freio Independente

Em 2019 que o projeto de implantação da nova versão do SIC foi realizado, em 2020 as novas ocorrências cadastradas começaram a ser implantadas.

O número de marcações geradas aumentou de um ano para o outro. Em 2019 foram validadas 192 ocorrências, ou seja, ocorrências geradas pelo sistema e que realmente deveriam ser verificadas. No ano posterior, com a entrada das novas ocorrências, além das já existentes de segurança, foram validadas 3711 ocorrências. O resultado foi positivo, pois mais situações puderam ser analisadas, trabalhadas com as equipes e futuramente evitadas.

Isso indica maior eficiência em evitar ocorrências, evitar riscos, evitar danos aos ativos e consumo desnecessário de combustível, indicando melhoria do processo de condução.

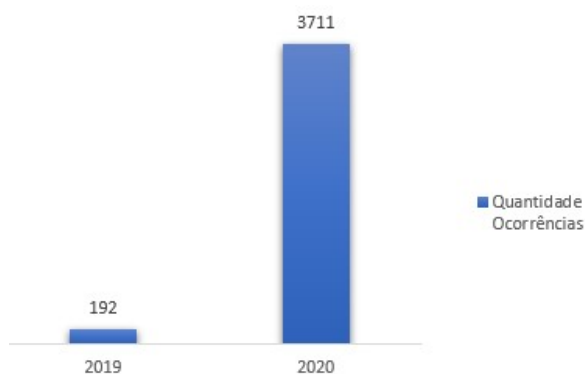


Fig. 5 – Quantidade de ocorrências validadas
Fonte: SIC – MRS

Portanto, a evolução do sistema permitiu um aumento da análise remota, reduzindo a atuação dos inspetores na verificação das viagens, ampliando com isso o tempo de análise dos mesmos nas ocorrências geradas. A maior automatização permitiu também outro grande resultado, que foi a substituição de dois tópicos das avaliações de conhecimento técnico da operação para a certificação do maquinista (certifica a possibilidade de condução de trens): itens do programa de “Observação de Tarefas” e do programa de “Acompanhamento de Viagens”.

Antes esses itens eram realizados por vários inspetores de campo e em todos os maquinistas, o que fazia com que os que realmente necessitavam de maior foco e orientação fossem pouco auxiliados e os que não necessitavam de orientações recebessem mesmo assim, devido ao tempo dedicado a cada um.

A partir da automatização desses programas,

foi criada uma Central Técnica, com número reduzido de inspetores, para realizar a análise dos dados gerados pelos sistemas e os demais inspetores de campo ficam dedicados às orientações e feedbacks focados nos maquinistas certos para maximizar o ganho com menor gasto de energia.

A centralização dos inspetores, que realizam as análises, em uma mesma área gerou maior troca de experiências, padronização dos retornos, feedbacks, do tipo e da forma de avaliação das ocorrências relacionadas a esses programas e consequente padronização na forma de pontuação dos maquinistas e geração da certificação.

Um outro grande benefício da automatização foi a sinergia com o trabalho de condução padrão, pois o SIC permitindo parametrizar o que deverá ser observado, auxilia na busca de uma condução mais padronizada e no treinamento dos maquinistas que estiverem destando do que se espera de resultado de uma viagem.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O SIC, a cada evolução vem atingindo um objetivo mais claro de agilizar as análises das viagens realizadas por cada trem, de permitir uma redução nos riscos operacionais e de garantir maior produtividade de ativos e recursos, como locomotivas, vagões e diesel. A evolução do SIC vem suportando de maneira significativa a melhoria constante dos processos relacionados à condução. Além disso, as informações e conceitos gerados pelo SIC atualmente são considerados para outros processos da empresa, como: certificação dos maquinistas, manutenção dos ativos e eficiência energética.

A evolução tecnológica do sistema trouxe também agilidade ao processo de criação das ocorrências e utilização das mesmas. A parametrização pelos usuários gerou maior autonomia e concentrou o uso do sistema na área que possui o conhecimento para gerar as ocorrências e avaliar as mesmas.

Os benefícios, portanto, são melhorias operacionais que se traduzem em ganhos financeiros, mas também traz benefícios no processo de gestão das equipes de maquinistas. O SIC se tornou a ferramenta de gestão da condução na empresa e está totalmente incorporada ao processo da operação medindo desempenho, funcionando como balizador na identificação das tendências de risco e melhorias na

condução do maquinista MRS.

8. AGRADECIMENTOS

Um agradecimento a todos que fizeram parte das equipes responsáveis pelo projeto desde o início, em especial ao Job Ribeiro, ao Diego Fabri, ao Thiago Russo, ao Laercio Azalim, ao Pablo Fonseca e ao Cristovão Barra. Somamos aos agradecimentos os usuários e os inspetores de operação de trem, que fazem e fizeram o SIC se tornar uma grande ferramenta de gestão e eficiência da Operação de Trens da MRS.

7. REFERÊNCIAS

- [1] Wang, B.; Barkan, C.; Saat, R. *Principal factors contributing to heavy haul freight train safety improvements in North America: a quantitative analysis*, 11th International Heavy Haul Association Conference (2017). Disponível em: <<http://railtec.illinois.edu/wp-content/uploads/2018/10/Wang-et-al-2017-IHHA.pdf>>. Acesso em 10 de julho de 2021.
- [2] Association of American Railroads; *Freight Railroads & Climate Change. Association of American Railroads* (2021). Federal Highway Administration, Freight Analysis Framework, Version 4.5.1. Disponível em: <<https://www.aar.org/wp-content/uploads/2021/02/AAR-Climate-Change-Report.pdf>>. Acesso em 10 de julho de 2021.
- [3] Loumiet, J. R.; Jungbauer, W. G., *Train Accident Reconstruction and FELA and Railroad Litigation*, Lawyers & Judges Publishing, 4ª edição (2011).
- [4] Abreu, B. R.; Fabri, D. F.; Casseiro, S. L. *SIC: identificação de riscos operacionais por meio da avaliação automática de registradores de evento*. V Encontro de Ferrovias, ANTF (2017).
- [5] Sutherland, Jeff; Sutherland, J.J. *Scrum: a arte de fazer o dobro do trabalho na*

metade do tempo. 3ª edição. Rio de Janeiro: LeYa, 2018.

- [6] SCRUM.ORG; *The home of Scrum: What is Scrum?* Disponível em: <<https://www.scrum.org/resources/what-is-scrum>>. Acesso em: 23 de julho 2021.