

## Monitoramento ambiental para avaliação do processo de aspersão de polímeros

Bruno da Silveira Pinheiro<sup>1\*</sup>, Iberê Antonio de Oliveira Souza<sup>1</sup>, Fábio Morelli Vieira<sup>1</sup>, Milton Marques Brovini<sup>1</sup>, Ítalo Pazolini Mármore<sup>2</sup>, Rafael Belo Pinheiro<sup>2</sup>

<sup>1</sup>MRS Logística S. A., Av. Brasil, 2001 - Centro - CEP: 36.060-010, Juiz de Fora/ MG

<sup>2</sup>Econservation Estudos e Projetos Ambientais Ltda., Rua José Alexandre Buaiz, 300 – Enseada do Suá – CEP: 29.050-545, Vitória/ ES

e-mail: bruno.pinheiro@mrs.com.br, ibere.antonio@mrs.com.br, fabio.morelli@mrs.com.br, milton.brovini@mrs.com.br, italo.pazolini@econservation.com.br, rafael.belo@econservation.com.br

### RESUMO

Uma das técnicas utilizadas para o controle da qualidade do ar nas comunidades interceptadas pela ferrovia é o processo de aspersão de polímeros no transporte de granéis sólidos em vagões abertos. Este processo tem o objetivo de impedir o arraste eólico da carga transportada controlando o impacto ambiental da atividade na qualidade do ar ambiente e também preservando a carga do cliente. Devido à grande extensão do deslocamento ferroviário para os fluxos de minério de ferro existe a dificuldade do monitoramento do impacto ambiental na qualidade do ar das comunidades interceptadas durante o trajeto dos trens.

Atualmente os padrões da qualidade do ar ambiente são dispostos por meio da Resolução nº 491, de 19 de novembro de 2018, que estabelece os parâmetros de interesse e os padrões de qualidade do ar. No entanto a avaliação da qualidade do ar ambiente nos locais por onde os trens de minério de ferro circulam não permite verificar a real contribuição da ferrovia e tampouco o que acontece dinamicamente durante o transporte. Apenas o monitoramento ambiental sob a ótica da referida Resolução não é suficiente para avaliar o processo de aspersão de polímeros no que tange ao controle do impacto ambiental na qualidade do ar.

Para verificar a eficácia do processo de aspersão de polímeros durante todo o trecho de interesse a MRS desenvolveu em parceria com uma empresa especializada uma metodologia específica para o monitoramento da qualidade do ar numa composição ferroviária, comparando os dados medidos com a velocidade, localização geográfica, características operacionais e a filmagem dos vagões de minério de ferro. Para a realização do monitoramento são instalados 3 (três) equipamentos contadores de partículas em distintos vagões ferroviários. Durante a circulação da composição o contador de partículas realiza uma leitura a cada minuto, em que seu princípio de funcionamento se dá pela incidência de um raio laser numa amostra de ar contendo partículas que, ao serem atingidas pelo mesmo, irão refletir e/ou refratar a luz incidente.

Para o monitoramento de fontes móveis não existe uma metodologia nacional estabelecida, em contraponto ao que existe para as fontes fixas, portanto a metodologia se constitui numa importante ferramenta para avaliação e controle do impacto ambiental do transporte ferroviário na qualidade do ar ambiente, direcionando ações para programas de monitoramento da qualidade do ar de ferrovias. Este trabalho visa apresentar a metodologia, desenvolvimento e resultados da campanha de monitoramento realizada.

**Palavras-Chaves:** Meio Ambiente; Licenciamento e impactos ambientais; Qualidade do ar.

## 1. INTRODUÇÃO

A malha ferroviária está distribuída entre as regiões brasileiras, perpassando diversas localidades geográficas ao longo do país. A extensão da malha concedida pela Agência Nacional de Transporte Terrestre é de 29.925 km [1]. Ao redor deste traçado as linhas férreas adentram regiões com distintos tipos de uso e ocupação do solo, convivendo com diversos empreendimentos, como em localidades onde existem diversas residências ao redor da malha ferroviária. Nestes casos há de se notar um especial interesse na redução do potencial de conflito urbano que pode ser gerado entre a atividade ferroviária e as municipalidades.

A MRS Logística é uma das operadoras ferroviárias brasileiras e atualmente possui a concessão da Malha Regional Sudeste, que está localizada em 3 estados da federação (MG, RJ e SP), cruzando mais de 100 municípios [2]. Dentre as principais cargas transportadas pela empresa estão: contêineres, siderúrgicos, cimento, bauxita, agrícolas, coque, carvão e minério de ferro [3]. Sendo que a principal carga transportada é o minério de ferro, que é uma das principais commodities produzidas no Brasil. No ano de 2020 o minério de ferro representou 61,42 % de tudo o que a MRS transportou, ao todo foram 98,167 milhões de toneladas [3].

O minério de ferro que é transportado nos trilhos da MRS Logística não é apenas um tipo de produto, ele pode ser definido como um grupo de produtos transportados. Existem diversos tipos de minérios de ferro, de distintas qualidades, e principalmente, de distintas granulometrias, por exemplo: *pellet feed* e *sinter feed*.

Dado as grandes cifras de minério de ferro produzidos no Brasil o setor ferroviário se mostra o mais eficaz para fazer a logística do produto, devido à eficiência que este modal tem para levar o produto das regiões produtoras (minas) para as regiões exportadoras (portos) ou até para consumidores nacionais, como é o caso da indústria siderúrgica. Apenas como base de comparação, um trem de minério de ferro pode transportar a carga que seria transportada por até 400 caminhões [4]. O transporte em grande escala é mais vantajoso

feito pelas ferrovias, devido ao menor custo frente ao modal rodoviário, eliminando assim uma série de impactos sociais que poderiam ser advindos da imensa movimentação de caminhões suficientes para transportar o que é levado via ferrovia [5].

Este produto é transportado, por via de regra, em vagões abertos, tipo gôndola. Estes vagões têm algumas características específicas que permitem realizar o transporte de minério de ferro com grande eficiência: suportam grandes quantidades de carga e têm facilidades operacionais para o processo de carga e descarga [6]. Para este grupo de transporte o carregamento se dá em terminais ferroviários específicos para o carregamento de minério de ferro, sendo o mesmo possível de ser realizado por diversos equipamentos: pá carregadeira, caminhão ou silo. No entanto o seu descarregamento é específico, e ocorre por meio do sistema “*car dumper*” [6]. Este sistema instalado nos portos simplesmente realiza a viração dos vagões abertos, ou seja, o sistema vira o vagão para que o material caia em silos específicos, e possa seguir por meio de correias para os navios.

Devido a este transporte feito em vagões abertos há de se ter especial cuidado para evitar o arraste eólico da carga durante o transporte, que não apenas pode gerar algum tipo de prejuízo econômico, mas principalmente impactos na qualidade do ar ambiente nas regiões ao redor da malha ferroviária. Assim as ferrovias que transportam este tipo de carga têm sistemas específicos para realizar o controle de emissão de particulados durante o transporte de minério de ferro em vagões abertos. Internacionalmente a tecnologia mais adequada para realizar este controle é o processo de aspersão de polímeros [7].

O aspersor de polímeros é uma planta industrial definida para impedir que haja o arraste eólico do minério de ferro (*ou outro granel de interesse*) durante o transporte ferroviário. A estrutura é composta de uma série de equipamentos (conjuntos moto bombas, sensores, válvulas, tanques, pórtico, dentre outros) para que funcionem de forma a aspergir uma solução composta de água e polímero na superfície exposta do minério de ferro carregado nos vagões abertos, promovendo uma aglutinação do material e

assim impedindo o arraste eólico do mesmo durante o transporte.

Esta estrutura de aspersão se constitui numa ferramenta de controle e mitigação de impactos ambientais, colaborando assim para controlar o impacto do transporte de minério de ferro nas municipalidades por onde o trem passa, e até de regiões mais longínquas, uma vez que a dispersão atmosférica pode atingir grandes distâncias.

No Brasil está em vigor a Resolução CONAMA nº 491, de 19 de novembro de 2018, que dispõe sobre os padrões de qualidade do ar. Este dispositivo legal contém valores guia de qualidade do ar ambiente recomendados pela Organização Mundial da Saúde. Os poluentes atmosféricos referenciados nessa resolução são: material particulado ( $MP_{10}$ ), material particulado ( $MP_{2,5}$ ), dióxido de enxofre ( $SO_2$ ), dióxido de nitrogênio ( $NO_2$ ), ozônio ( $O_3$ ), fumaça, monóxido de carbono (CO), partículas totais em suspensão (PTS) e chumbo (Pb).

Assim, se formos analisar quais destes parâmetros amostrados poderiam detectar a presença de minério de ferro chegamos à conclusão de que são os parâmetros PTS,  $MP_{10}$  e  $MP_{2,5}$ . Assim, a monitoração destes parâmetros é importante para detectar se determinadas regiões estão sendo ou não impactadas pelo transporte ferroviário de minério de ferro em níveis prejudiciais à saúde da população. Ocorre que embora exista esta resolução específica sobre a qualidade do ar ambiente inexistente uma orientação normativa para monitoramentos específicos para o transporte ferroviário de granéis finos.

A MRS Logística possui um aspersor de polímeros em sua malha ferroviária localizado no município de Barra Mansa – RJ. Este aspersor está localizado numa linha simples (singela), ou seja, em que há uma só via onde os trens transitam nos dois sentidos [8]. Assim, todos os trens de minério de ferro que passam por esta estrutura recebem a aspersão de polímeros, de forma a impedir o arraste eólico da carga durante o transporte.

Devido a especificidade deste tipo de estrutura de mitigação ambiental a MRS desenvolveu em parceria com uma empresa especializada uma forma específica de monitorar a eficiência do aspersor de

polímeros. Esta medida teve o objetivo de monitorar o que ocorre antes e após a aspersão de polímeros, e também propiciar a possibilidade de comprovação desta eficiência, uma vez que não existem monitoramentos tradicionais que permitam comprovar a eficiência desta estrutura de mitigação ambiental. Assim, este presente artigo visa apresentar a metodologia criada para esta monitoração ambiental, apresentar seus resultados e discuti-los.

## 2. METODOLOGIA

Para desenvolvimento da metodologia de monitoramento do sistema de controle ambiental primeiramente foi realizada uma pesquisa bibliográfica para verificação dos principais elementos representativos da dinâmica do transporte ferroviário de minério de ferro em vagões abertos, onde se buscou o material técnico disponível na literatura para descrever os fatores ambientais e operacionais que podem contribuir para a geração da emissão de material particulado na operação de transporte de minérios em vagões.

A emissão de material particulado pode ser ocasionada no transporte ao longo da linha ferroviária a partir de alguns processos, tais como a erosão eólica da superfície de minério exposto no vagão. As emissões causadas pela erosão eólica da superfície de minério exposta dentro dos vagões podem ser geradas durante o trânsito, pois a carga está sujeita a ação erosiva do vento sobre a velocidade induzida pelo movimento do trem [9].

Outras propriedades do minério transportado como, densidade, distribuição do tamanho de partículas, umidade relativa e exposição ao vento, podem influenciar a quantidade de partículas afetadas (perturbadas) que poderão ser emitidas para atmosfera.

A influência do vento na ocorrência de emissões de material particulado no transporte de minério será relativamente menor quando o vento for perpendicular à lateral aos vagões, considerando a composição em deslocamento.

Um fluxo de ar através da superfície livre de

um vagão aberto (carregado) poderá mover as partículas por três meios de transporte: suspensão (partículas de diâmetro < 75 micrometros); saltarão (75 < partículas de diâmetro < 500 micrometros); e rolamento (500 < partículas de diâmetro < 1000 micrometros) [9].

A Figura 1 apresenta esquema indicando os diferentes mecanismos que provocam a emissão de material particulado em superfícies expostas de minério.

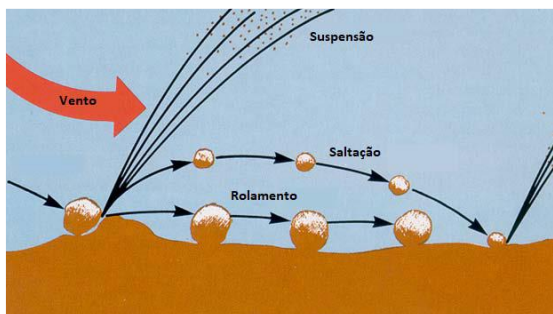


Figura 1. Mecanismos que provocam a emissão de material particulado [10].

Na avaliação do volume de material emitido, devem ser levados em consideração: dimensões do trem, perfil de carga, superfície total exposta, propriedades físicas do material, teor de umidade, distribuição do material, velocidades de trem em toda a rota, comprimento total da viagem, condições climáticas e eficiência do sistema de controle (aspersão de polímeros, por exemplo).

Assim, definiu-se que a melhor forma de realizar a monitoração ambiental para avaliar a eficiência do aspersor de polímero seria a monitoração de uma composição ferroviária carregada com minério de ferro, avaliando a qualidade do ar antes e após o aspersor, para assim comprovar os efeitos de seu funcionamento. A metodologia de monitoramento pode ser sumariamente compreendida por meio do esquemático indicado na Figura 3, que apresenta as principais características da monitoração.



Figura 2. Componentes do monitoramento realizado. Fonte: Próprio Autor.

Ao todo são utilizados 4 componentes de coleta de informações para esta monitoração: (i) concentração da qualidade do ar por meio dos amostradores, (ii) filmagem dos vagões carregados da composição ferroviária, (iii) velocidade e posição da locomotiva principal da composição ferroviária e (iv) dados de precipitação obtidos por meio do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden) e da empresa Climatempo, com a qual a MRS possui contrato específico para fornecimento de análises meteorológicas.

Para realização do monitoramento de material particulado foi utilizado o equipamento de medição contínua da marca AQMesh. O monitor possui capacidade de realizar medições de PTS, MP<sub>10</sub> e MP<sub>2,5</sub>.

Com relação ao método de detecção de partículas, seu princípio de funcionamento se dá pela incidência de um raio laser numa amostra de ar contendo partículas que, ao serem atingidas pelo mesmo, irão refletir e/ou refratar a luz incidente. Um sensor óptico de alta sensibilidade mede a quantidade de luz espalhada por elas. O sinal gerado pelo detector de luz é enviado a um microprocessador que interpreta, calcula e conta a quantidade de partículas contidas na amostra de ar. A Figura 3 apresenta o equipamento utilizado neste estudo.



Figura 3. Equipamento utilizado no monitoramento de partículas [10].

Para definição da posição dos equipamentos nos vagões foram levantados estudos de medições em vagões e análises em túnel de vento e mecânica dos fluidos computacional, de forma a identificar a melhor configuração quanto a localização dos medidores [9; 11]. A Figura 4 auxilia a perceber a aerodinâmica relacionada ao transporte ferroviário.

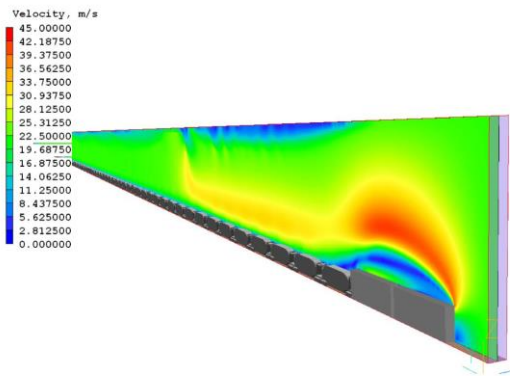


Figura 4. Ilustração do campo de velocidades do escoamento de vagões em movimento [9].

Com base nestes estudos e em critérios de ordem prática foram definidas as recomendações para instalação dos equipamentos:

- Instalação dos monitores de partículas em 3 (três) vagões posicionados em sequência;
- Instalação de 1 (um) monitor de particulados por vagão;
- Instalação dos analisadores em 3 (três) vagões que estejam afastados da locomotiva, todavia que estejam dentro do campo de monitoramento das câmeras instaladas.

Durante o desenvolvimento dos serviços de

campo algumas recomendações foram adaptadas para atender às questões de ordem prática, como a disponibilidade da escada do vagão para acesso ao frechal dos mesmos, assim a instalação dos equipamentos foi ordenada da forma indicada na Figura 5 (7º, 8º e 9º vagões).



Figura 5. Desenho esquemático com a localização aproximada dos equipamentos de medição (em azul).

Na configuração adotada para o monitoramento, a locomotiva auxiliar operou com a câmera voltada para os vagões para a filmagem dos mesmos conforme Figura 6.



Figura 6. Videomonitoramento [10].

A velocidade e o posicionamento geográfico das locomotivas são captadas por meio de receptor GPS (Global Position System) instalado na locomotiva e extraído por meio do sistema de controle de trens baseado em comunicação, o CBTC (Communications Based Train Control), que é um sistema de controle de trens de última geração, em que a MRS foi a primeira ferrovia de cargas do mundo a adotá-lo [12].

Os dados de precipitação foram obtidos por meio do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden) e da empresa Climatempo por meio das estações pluviométricas mais próximas da malha ferroviária.

### 3. RESULTADOS

A composição ferroviária avaliada foi monitorada no trecho situado antes do aspersor de polímeros e após a estrutura de mitigação ambiental, para então comprovar a eficiência do mesmo. Na Figura 7 é apresentado o mapa com a indicação do trecho em questão, que se deu entre os municípios de Bom Jardim de Minas – MG e Mangaratiba – RJ.



Figura 7. Diagrama esquemático da malha ferroviária administrada pela MRS Logística [12]

O monitoramento da composição ferroviária durou aproximadamente 11 h e 30 minutos, no trajeto entre os 2 municípios indicados. Nas Tabelas 1 a 3 estão descritos os resultados da qualidade do ar coletados, com destaque para as concentrações médias de PTS, MP<sub>10</sub> e MP<sub>2,5</sub> antes e após a aspersão de polímeros.

Tabela 1. Concentrações de PTS antes e depois da aspersão de polímeros [10].

Analisador	Média (µg/m³)	Redução da média
1	Antes 948,75	97,80%
	Depois 20,92	
2	Antes 351,53	88,83%
	Depois 39,27	
3	Antes 442,97	94,41%
	Depois 24,77	

Tabela 2. Concentrações de MP<sub>10</sub> antes e depois da aspersão de polímeros [10].

Analisador	Média (µg/m³)	Redução da média
1	Antes 152,01	91,27%
	Depois 13,27	
2	Antes 80,5	62,60%
	Depois 30,11	
3	Antes 69,55	70,89%
	Depois 20,24	

Tabela 3. Concentrações de MP<sub>2,5</sub> antes e depois da aspersão de polímeros [10].

Analisador	Média (µg/m³)	Redução da média
1	Antes 16,86	60,93%
	Depois 6,58	
2	Antes 16,87	25,26%
	Depois 12,61	
3	Antes 12,87	12,89%
	Depois 11,21	

Foi realizando também a análise estatística do coeficientes de correlação do tipo Pearson entre os analisadores instalados nos 3 vagões, que indicaram para todos os casos uma forte correlação (> 0,85).

As Figuras 8 a 10 apresentam a evolução temporal média dos parâmetros monitorados em função da velocidade da locomotiva (PTS, MP<sub>10</sub> e MP<sub>2,5</sub>).

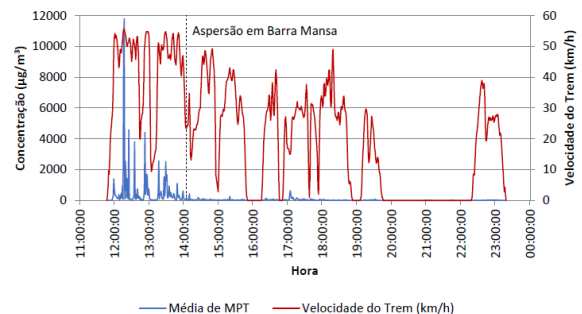


Figura 8. Média do PTS em contraste com a velocidade de locomotiva [10].

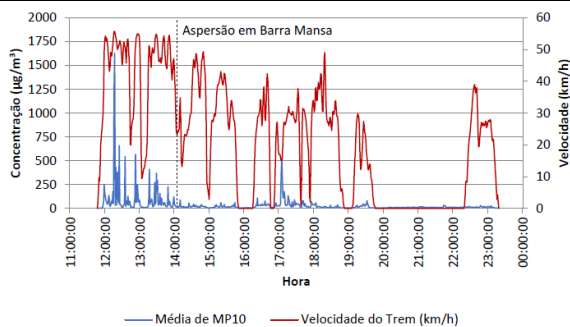


Figura 9. Média do MP<sub>10</sub> em contraste com a velocidade de locomotiva [10].

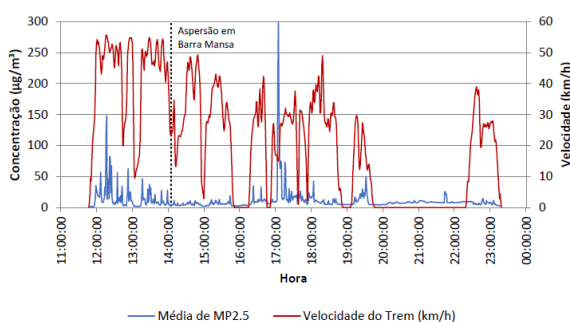


Figura 10. Média do MP<sub>2,5</sub> em contraste com a velocidade de locomotiva [10].

Durante o monitoramento foram encontradas ocorrências de leve precipitação pluviométrica detectada por meio do videomonitoramento, em situação posterior à aspersão de polímeros.

Durante o monitoramento não foi detectada nenhuma emissão visível a olho nu após a aspersão de polímeros realizada em Barra Mansa - RJ.

#### 4. CONCLUSÕES

Foi realizado o monitoramento da qualidade do ar na composição ferroviária no transporte de minério de ferro da MRS, no trecho entre os municípios de Bom Jardim de Minas - MG e Mangaratiba - RJ. Foram avaliadas as concentrações medidas de PTS, MP<sub>10</sub> e MP<sub>2,5</sub> pelos analisadores de medição contínua, instalados em três vagões consecutivos da composição (7º, 8º e 9º vagões).

A partir da análise dos resultados, é possível concluir que o sistema de aspersão de polímeros localizado em Barra Mansa - RJ

reduz significativamente as emissões decorrentes do transporte de minério de ferro em vagões, uma vez que para todos os parâmetros analisados, e em todos os analisadores, houve uma diminuição nas concentrações medidas.

Fazendo uma relação entre a média das concentrações antes e após a aplicação de polímero, é possível observar que no 7º vagão houve uma redução de 97,80%, 91,27%, e 60,93% para os parâmetros PTS, MP<sub>10</sub> e MP<sub>2,5</sub>, respectivamente. No 8º vagão houve uma redução de 88,83%; 62,60%; e 25,26% para PTS, MP<sub>10</sub> e MP<sub>2,5</sub>, respectivamente. No 9º vagão houve uma redução de 94,41%; 70,89%; e 12,89% para PTS, MP<sub>10</sub> e MP<sub>2,5</sub>, respectivamente.

É importante considerar que foram encontradas ocorrências de leve precipitação pluviométrica após a aspersão de polímeros, o que pode contribuir para uma maior redução da média calculada com os valores obtidos, após a aplicação do polímero, mas não descaracteriza o fato e a comprovação de redução significativa das emissões de material particulado em função da operação do sistema de controle.

Outro fato importante, é que a aplicação de polímero realizada atualmente pela MRS é mais eficiente para a redução da emissão do particulado com granulometria mais grosseira do que para a fração mais fina, que pode ser explicada também pelas menores médias absolutas dos parâmetros MP<sub>10</sub> e MP<sub>2,5</sub> em comparação às do parâmetro PTS.

Assim, este trabalho apresenta os instrumentos técnicos utilizados para realizar o monitoramento da composição ferroviária, com o objetivo de avaliar a eficiência do sistema de aspersão de polímeros para o transporte ferroviário de minério de ferro em vagões.

Recomenda-se que sejam elaborados novos estudos técnicos para aumento da base de dados de informações sobre a monitoração da qualidade do ar no transporte ferroviário de minério de ferro.

#### 5. AGRADECIMENTOS

À MRS Logística e seus colaboradores pelas

práticas da empresa que contribuem para a manutenção de sua atividade e a preservação do meio ambiente, e também pela oportunidade de desenvolver este trabalho.

À empresa Econservation Estudos e Projetos Ambientais que desenvolveu esta metodologia e realizou a monitoração, ambos em conjunto com a MRS.

## 6. REFERÊNCIAS

- [1] Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT. Assuntos. Ferrovias. Concessões ferroviárias. Disponível em: <https://portal.antt.gov.br/concessoes-ferrovias>. Acesso em: 18/07/2021.
- [2] Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT. Assuntos. Ferrovias. Concessões ferroviárias. MRS Logística S.A. Disponível em: <https://portal.antt.gov.br/mrs-logistica-sa> viarias. Acesso em: 18/07/2021.
- [3] MRS Logística S.A. Relatório anual 2020. Disponível em: <https://ri.mrs.com.br/>. Acesso em: 18/07/2021.
- [4] Associação Brasileira da Indústria Ferroviária – ABIFER. Logística: Trem versus Caminhão. Disponível em: <https://abifer.org.br/logistica-trem-versus-caminhao/#:~:text=1%23%20%E2%80%93%20Numa%20dist%C3%A2ncia%20de%201,transportar%20uma%20tonelada%20de%20frete.&text=A%20maior%20parte%20dos%20trens,custo%20C3%A9%206%20vezes%20maior>. Acesso em: 18/07/2021
- [5] COELHO, C. F.; MORALES, G. Comparação de modais de transporte para escoamento de minério: indicadores de sustentabilidade. VIII Congresso nacional de Excelência em Gestão, 8 e 9 de junho de 2012. ISSN 1984-9354.
- [6] DA SILVA, A. Estudo para alteração dos montantes dos vagões gôndolas. - Especialização em Transporte Ferroviário de Carga – Instituto Militar de Engenharia (IME) – 2019
- [7] Katestone Environmental Pty Ltd. (2014). Literature Review of Coal Train Dust Management Practices. Preparado para NSW Environment Protection Authority.
- [8] Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT. Glossário de termos ferroviários.
- [9] CONNELL HATCH. Final Report Environmental Evaluation of Fugitive Coal Dust Emissions from Coal Trains Goonyella, Blackwater and Moura Coal Rail Systems Queensland Rail Limited, 2008.
- [10] MRS Logística S.A. e Econservation Estudos e Projetos Ambientais, 2020. Relatório de monitoramento da qualidade do ar na composição ferroviária.
- [11] FERREIRA, A.d.; VIEGAS, D.x.; SOUSA, A.c.m.. Full-scale measurements for evaluation of coal dust release from train wagons with two different shelter covers. Journal Of Wind Engineering And Industrial Aerodynamics, [s.l.], v. 91, n. 10, p.1271-1283, out. 2003. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0167-6105\(03\)00077-1](http://dx.doi.org/10.1016/s0167-6105(03)00077-1).
- [12] MRS Logística S.A. Conheça o CBTC. Disponível em: <https://www.mrs.com.br/post-blog-inovacao/conheca-o-cbtc/>. Acesso em: 18/07/2021.
- [13] MRS Logística S.A. Empresa. Malha ferroviária e frota. Disponível em: <https://www.mrs.com.br/empresa/ferrovia-frota/>. Acesso em: 18/07/2021.