

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS
ENGENHARIA MECÂNICA
RULIO CHAGAS REIS

**APLICAÇÃO DE SOLDA ALUMINOTÉRMICA EM FRATURA DE TRILHO, PARA
DIMINUIÇÃO DE DESCARRILAMENTOS EM VIAS FÉRREAS**

Varginha

2021

RULIO CHAGAS REIS

**APLICAÇÃO DE SOLDA ALUMINOTÉRMICA EM FRATURA DE TRILHO, PARA
DIMINUIÇÃO DE DESCARRILAMENTOS EM VIAS FÉRREAS**

Projeto de pesquisa apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas UNIS MG, sob a orientação do Prof. Me Eduardo Emanuel Vieira Guedes.

Varginha

2021

RULIO CHAGAS REIS

**APLICAÇÃO DE SOLDA ALUMINOTÉRMICA EM FRATURA DE TRILHO, PARA
DIMINUIÇÃO DE DESCARRILAMENTOS EM VIAS FÉRREAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Mecânica do Centro
Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG como
pré-requisito para obtenção de grau bacharel.

Orientação: Prof: Eduardo Emanuel Vieira
Guedes

Aprovado em / /

Professor:

Professor:

Professor:

OBS:

Primeiramente, dedico este trabalho a Deus, por ter me dado forças e guiado toda minha trajetória.

A minha mãe, Juliany Chagas Reis, e meu pai, Adilio Vilhena M Reis, que não mediram esforços para que eu continuasse a realizar meu sonho e por sempre me apoiarem, toda minha gratidão a eles. Ao meu grande irmão Thiago Chagas e sua esposa Cristiane, junto as minhas tias, por toda paciência e carinho oferecidos nesta etapa. E, por fim, aos demais familiares que participaram e ajudaram de alguma forma na minha vida acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, Eduardo Guedes Vieira, por todo o suporte oferecido para a finalização deste trabalho, pelas suas correções e incentivos. Aos funcionários da empresa VLI-Logística de Lavras – MG, pelas informações prestadas. E a todos que de alguma forma colaboraram para elaboração deste trabalho.

RESUMO

Será feito um estudo de caso, analisando a diminuição de ocorrências ferroviárias, através da utilização do processo de soldagem aluminotérmica, causando menos empeno na linha e melhorando a manutenção e a confiabilidade da linha.

Tendo objetivo apresentar o processo de soldagem aluminotérmica em ferrovias, para melhorar a confiabilidade da via férrea retirando defeitos e diminuir os descarrilamentos. Mostrar a capacidade que a soldagem aluminotérmica tem de melhorar a confiabilidade de uma ferrovia, através soluções de manutenção preventiva.

O trecho a ser analisado será entre as SB (Seção de bloqueio ou pátio ferroviário) ERV (Estação de Ribeirão Vermelho) – Cidade de Ribeirão Vermelho em Minas Gerais e EPF (Estação de Paulo Freitas – Cidade de Ingaí) situadas na linha férrea rota do calcário pertencente ao Corredor Minas –Rio entre Arcos –MG a Barra Mansa – RJ.

Realizado utilizando-se livros técnicos, catálogos e apostilas, dos quais foram obtidos os conceitos básicos que norteiam o tema. Discussões com profissionais do segmento de ferrovias e soldagem, também foram, levantando-se pontos críticos e agravantes deste tipo de problema.

Palavras-chave: Estudo de caso; Ocorrências ferroviárias; Soldagem Aluminotérmica.

ABSTRACT

A case study will be carried out, analyzing the reduction of railway occurrences, through the use of the aluminothermic welding process, causing less warping in the line and improving the maintenance and reliability of the line.

Aiming to present the aluminothermic welding process in railways, to improve the reliability of the railway, removing defects and reducing derailments. Show the ability of aluminothermic welding to improve the reliability of a railway, through preventive maintenance solutions.

The section to be analyzed will be between the SB (Blocking Section or Railway Yard) ERV (Ribeirão Vermelho Station) – Ribeirão Vermelho City in Minas Gerais and EPF (Paulo Freitas Station – Ingaí City) located on the railway route. limestone belonging to the Minas – Rio Corridor between Arcos –MG to Barra Mansa – RJ.

Carried out using technical books, catalogs and handouts, from which the basic concepts that guide the theme were obtained. Discussions with professionals in the railroad and welding sector were also raised, raising critical and aggravating points for this type of problem.

Keywords: Case study; Railway incidents; Aluminothermic welding.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Perfil de trilho ferroviário “ Perfil Vignole” e seus componentes	7
Figura 02 – Trem descarrilhado.....	8
Figura 03 – Representação esquemática do processo SmWF	11
Figura 04 – Representação esquemática do processo SoWoS	11
Figura 05 – Representação esquemática do processo SKvF	12
Figura 06 – Componentes para o processo de soldagem aluminiotérmica.....	12
Figura 07 – Imagem com defeito por meio de fusão	14
Figura 08 – Forte presença de porosidade na soldagem aluminiotérmica.....	15
Figura 09 – Corredor Minas Rio	16
Figura 10 – Carro de controle.....	17
Figura 11 – Auto de Linha.....	17
Figura 12 – Sistema de monitoramento de Via (SMV).....	18
Figura 13 – Problemas observados nos trilhos 2020.....	19
Figura 14 – Gráfico demonstrativo dos problemas observados nos trilhos em 2020.....	19
Figura 15 – Monitoramento do maior problema em 2020.....	20
Figura 16 – Meta de melhoria nos trilhos.....	20
Figura 17 – Diagrama Causa e Efeito.....	21
Figura 18 – Técnica dos Porquês.....	21
Figura 19 – Plano de ação.....	22
Figura 20 – Condição climática x temperatura do trilho.....	22
Figura 21 – Preparação do trilho para soldagem.....	23
Figura 22 – Corte com a esmerilhadeira.....	23
Figura 23 – Corte feito com a esmerilhadeira.....	24
Figura 24 – Limpeza do trilho.....	24
Figura 25 – Montagem das formas.....	25
Figura 26 – Formas montadas.....	26

Figura 27 – Zona de fusão afetada pelo calor.....	26
Figura 28 – Pré aquecimento.....	27
Figura 29 – Região aquecida.....	28
Figura 30 – Posicionamento do cadinho.....	29
Figura 31– Reação química da solda aluminiotérmica.....	29
Figura 32 – Retirada da solda defeituosa.....	30
Figura 33 – Remoção do cadinho.....	30
Figura 34 – Remoção da prensa universal e das presilhas.....	31
Figura 35 – Rebarbadeira.....	32
Figura 36 – Acabamentos.....	32
Figura 37 – Acabamento no boleto.....	33
Figura 38 – Monitoramento nos trilhos 2021.....	34
Figura 39 – Descarrilamentos ano 2021.....	34
Figura 40 – Comparativo do monitoramento das vias 2020 e 2021.....	35

LISTA DE ABREVIACÕES

VER – Estação de Ribeirão Vermelho

EPF – Estação de Paulo Freitas

FCA – Ferrovia Centro Atlântica

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

CSN - Companhia Siderúrgica Nacional

GAF - Grupos de análise de falhas

SMV - Sistema de Monitoramento de Via

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	4
2 TEMA DA PESQUISA.....	5
3 OBJETIVO GERAL.....	5
3.1 Objetivo específico	5
4 JUSTIFICATIVA	5
5 METODOLOGIA.....	6
6 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
6.1 Histórico das ferrovias	6
6.1.1 Histórico dos trilhos ferroviários.....	7
6.1.2 Descarrilhamentos	8
6.2 Fórmula para dimensionamento de juntas desniveladas	9
6.3 Soldagem em trilhos ferroviários	9
6.3.1 Soldagem aluminiotérmica: Aplicações e conceitos	9
6.3.2 Métodos no processo de soldagem aluminiotérmica.....	10
6.3.3 Equipamentos de soldagem	12
6.3.4 Propriedades da solda aluminiotérmica.....	13
6.3.5 Controle de qualidade na solda.....	13
6.3.6 Defeitos durante o processo de soldagem	13
6.3.7 Soldagem aluminiotérmica: Vantagens e desvantagens.....	13
7 DESCRIÇÃO DO LOCAL A SER ANALISADO	16
8 PARÂMETROS PARA PESQUISA.....	16
8.1 Inspeção preventiva	16
8.2 Inspeção corretiva.....	18
9 ANÁLISE E DESDOBRAMENTO DO PROBLEMA (PDCA)	18
9.1 Identificação do problema	18
10 HISTÓRICO DO PROBLEMA	19
10.1 Brainstorm	20
10.2 Análise do Problema: Diagrama de Causa e Efeito.....	21

11 PLANO DE AÇÃO.....	21
11.1 Técnica dos porquês	21
11.2 Cronograma	21
12 PROCESSO DE SOLDAGEM ALUMINIOTÉRMICA	22
12.1 Clima para aplicação	22
12.2 Preparação	22
12.3 Esmerilhamento	23
12.4 Corte	24
12.5 Limpeza	24
12.6 Montagem das formas	25
12.7 Pré aquecimento	26
12.8 Reação e vazão	28
13 RESULTADOS	33
14 CONCLUSÃO.....	35
REFERÊNCIAS	36

1 INTRODUÇÃO

Este projeto tem como objetivo montar um estudo de caso sobre aplicação de solda aluminotérmica em fratura de trilho, para diminuição de descarrilamentos em vias férreas.

O processo aluminotérmico consiste, fundamentalmente, no fato de que uma mistura adequadamente preparada de alumínio e óxido de ferro pesado, após inflação inicial reage de maneira exotérmica a uma temperatura relativamente alta.

Uma aplicação da soldagem aluminotérmica na ferroviária em comprimentos contínuos, o processo é muito eficaz, pois elimina o número de juntas parafusadas na estrutura das vias.

O trecho a ser analisado será o ERV e EPF estações ferroviárias, entre Lavras em Minas Gerais até Barra Mansa no Rio Janeiro.

Será feito um estudo de caso, analisando a diminuição de ocorrências ferroviárias, através da utilização do processo de soldagem aluminotérmica, causando menos empeno na linha e melhorando a manutenção e a confiabilidade.

2 TEMA DA PESQUISA

Conhecer todos os processos de soldagem aluminotérmica e através de um estudo de caso e pesquisas, entender os problemas envolvidos em linhas férreas e elaborar um plano de ação para manutenções permanentes em uma grande quantidade de trechos. Ainda serão utilizadas ferramentas de qualidade para melhoria do processo como um todo.

O intuito é criar um ambiente de trabalho mais eficiente, obter uma melhor qualidade nos trilhos das linhas ferroviárias, diminuindo o número de manutenções.

Essa tecnologia se torna barata, pois permite junção entre trilhos desgastados e quebrados, desde que o a espessura do boleto seja compatível, com isso irá remover seus defeitos de uso e melhorar a vida útil da peça, pois irá concentrar menos tensão.

3 OBJETIVO GERAL

Este estudo de caso tem por objetivo apresentar o processo de soldagem aluminotérmica em ferrovias, para melhorar a confiabilidade da via férrea retirando defeitos e diminuir os descarrilamentos.

3.1 Objetivos específicos

- Diminuição de descarrilamentos;
- Aumento de confiabilidade da linha;
- Melhora no indicado de *transit time* (tempo de percurso) de transporte da carga;
- Redução de juntas entaladas que hoje é a causa principal de empeno na linha;
- Apresentar algumas comparações de tempo, preço e qualidade;
- Diminuição de fraturas de trilho.

4 JUSTIFICATIVA

O tema proposto para esse projeto é mostrar a capacidade que a soldagem aluminotérmica tem de melhorar a confiabilidade de uma ferrovia, através soluções de manutenção preventiva e corretiva, com o uso da Engenharia Mecânica, melhorar a qualidade da via permanente, aumentar a segurança das operações e diminuir as quedas de descarrilamentos de locomotivas e vagões. Esses ganhos são essenciais para o processo pois

melhora a velocidade média das composições, transportando mais cargas em um menor tempo, aumentando a segurança dos maquinistas e aumenta a eficiência energética pois consome menos combustível, além de ganhar a credibilidade com os clientes.

5 METODOLOGIA

Este estudo foi realizado utilizando-se livros técnicos, catálogos e apostilas, dos quais foram obtidos os conceitos básicos que norteiam o tema. Discussões com profissionais do segmento de ferrovias e soldagem, também foram levantando os pontos críticos e os agravantes deste tipo de problema.

Foram realizados estágios na ferrovia, verificando-se procedimentos e resultados.

Grande parte dos dados técnicos de campo foram obtidos na “Ferrovia Centro Atlântica – FCA – VLI Logística”, importante empresa do segmento em ferrovias.

Na segunda etapa será mostrado um levantamento e dados com informações coletadas na empresa, indicando seus resultados através do processo de soldagem aluminiotérmico.

6 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

6.1 Histórico das ferrovias

Com a revolução industrial, no início da década de 40 do século XIX, na Inglaterra, houve uma explosiva expansão na construção ferroviária, fundamental para o crescimento tecnológico que consolidou esse país como potência econômica mundial.

As ferrovias justificavam tal nome, pois, ao utilizarem trilhos de ferro fundido, eram mesmo estradas de ferro. Os trilhos apresentavam como inconveniente a presença do desgaste, o que encarecia a conservação das vias permanentes. A contribuição de Henry Bessemer em 1856 constituiu-se na fabricação dos trilhos de aço que, praticamente, não se desgastavam ao serem comparados aos trilhos de ferro fundido. Surgida no tempo de Dom Pedro II a ferrovia brasileira atingiu o auge de seu crescimento durante o ciclo do café, quando quase toda a rede era estatal. A partir de 1960 entrou em decadência e agora, privatizada, tem voltado com força renovada. Segundo a Associação Brasileira da Indústria Ferroviária (ABIFER 2010), entre 1996 e 2000 a indústria brasileira de equipamentos ferroviários ainda vivia maus momentos (reflexo da crise de 60 que ainda persistia). A partir de 2000, a situação se alterou para melhor e o pessimismo deu lugar à euforia, alimentado

pelo programa do Governo Federal de revitalização das vias férreas e pelo agronegócio que se expandia rapidamente.

Atualmente, em todo o mundo, as indústrias siderúrgicas e de mineração passam por um ciclo de prosperidade sem precedentes, ostentando recordes na produção, aumento de demanda e grandes investimentos.

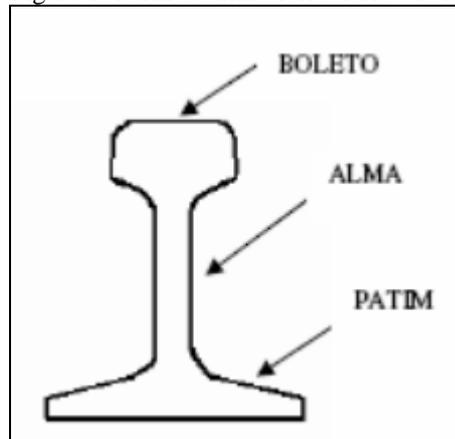
6.1.1 Histórico dos trilhos ferroviários

Trilhos são vigas longas de aço, resistentes ao desgaste, aos choques e ações mecânicas, com forma ou perfil especial sobre a qual trafegam e são guiadas as rodas do equipamento de tração (locomotivas).

Os trilhos são posicionados sobre os dormentes os quais transferem para estes as solicitações do material rodante da via. Possuem, ainda, como uma de suas funções sustentar e conduzir os trens, apresentando características estruturais de uma viga extensa e contínua.

O perfil utilizado atualmente em trilhos ferroviários é do tipo Vignole, idealizado pelo engenheiro inglês “Vignole”, composto por boleto, alma e patim, conforme Figura 1, definido pela ABNT NBR 7590 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1991).

Figura 1: Perfil de trilho ferroviário “Perfil Vignole” seus componentes



Fonte: Semprebone (2005).

O boleto é a parte do trilho destinada ao apoio de deslocamento da roda ferroviária. A grande massa concentrada no boleto é justificada pelo atrito. A alma é definida como a parte do trilho compreendida entre o boleto e o patim.

O patim é a base inferior do trilho, através do qual o trilho é apoiado e fixado nos dormentes que recebem e transmitem os esforços produzidos pelas cargas ao lastro que são geralmente de pedra britada e cascalho. O patim não pode ser muito fino para garantir que a

alma continue perpendicular ao dormente durante as solicitações transversais como, por exemplo, em curvas, onde essas são mais pronunciadas.

As estruturas dos trilhos são perfis de aço laminado, responsáveis por guiar as rodas dos trens na estrada de ferro, sendo sujeitos a desgastes de defeitos e falhas, devido às condições de carregamento no contato da roda. Esses problemas estão relacionados às características mecânicas e metalúrgicas dos trilhos, além de dependerem das condições operacionais e de manutenção de cada ferrovia. (ROSA, 2008)

Para a produção das vias férreas os segmentos de trilhos necessitam ser soldados e a partir desse fato surge a denominação de linhas contínuas soldadas ou trilhos longos soldados.

Um dos processos mais utilizados para unir os segmentos é a soldagem aluminotérmica, processo executado na própria via.

6.1.2 Descarrilamentos

Descarrilamento é um trem (vagões e locomotivas) sai dos trilhos. Ocorre quando uma roda de um vagão ou locomotiva perde o boleto do trilho.

A principal causa é por desnivelamento de juntas de trilhos.

Figura 2: Trem descarrilhado



Fonte: Descarrilamento seguido de tombamento FCA

6.2. Fórmulas para dimensionamento de juntas desniveladas

SPE = SUPER ELEVACÃO

B = BITOLA (mm)

V = VELOCIDADE DA COMPOSIÇÃO (TREM)

R = raio de curva

6.3 Soldagem em trilhos ferroviários

Uma ferrovia pode ser constituída por trilhos longos ou curtos, sendo que o processo de soldagem é irrevelante para as duas configurações.

Os trilhos longos oferecem vantagens de ordem técnica e econômica, pois as juntas normalmente são os pontos iniciais de defeitos da linha e que ocasionam maior número de acidentes no tráfego, o que justifica a utilização de trilhos longos. A utilização deste tipo de trilho contribuirá para a economia dos materiais das juntas e na redução com gastos nas vias.

6.3.1 Soldagem aluminotérmica: Aplicações e conceitos

Seu surgimento deu-se em 1896, pelo professor Hans Goldschmidt, em um congresso da Sociedade Eletroquímica Alemã com a denominação patenteada "Thermit®" pela empresa Goldschmidt AG (West Germany) (Orgothus Inc. USA).

O processo aluminotérmico tem sido bastante utilizado em aplicações específicas na qual outro processo conhecido de soldagem não apresentaria a flexibilidade e condições adequadas para a realização no próprio local.

É um processo que não possui relação ou semelhança com outros métodos de soldagem, pois se baseia em reações químicas entre materiais ferrosos ou não ferrosos e o alumínio, produzindo a coalescência dos metais, pelo aquecimento.

Uma mistura adequadamente preparada de alumínio e um óxido, após a ignição inicial da reação, por ser altamente exotérmica. A reação exotérmica requer cerca de 20 a 30 segundos para se efetivar, independente da quantidade de produtos químicos envolvidos.

Desta reação um metal liquefeito na base do cadinho com uma escória de óxido de alumínio sobrenadando este metal. A equação que descreve esta reação aluminotérmica é a seguinte:



A quantidade de mistura, chamada de Thermit, é com base na quantidade de metal que se deseja para a soldagem, sendo aproximadamente três vezes em volume. Essa mistura, constituída de óxido metálico, alumínio, elementos de liga e aço baixo carbono, onde é colocada em um cadinho especial que possui abertura em sua parte inferior. Após efetuada a ignição da reação com um acendedor especial, esta se torna auto-sustentável tomando conta de toda a mistura.

Ao término da reação, devido à diferença de densidade entre o óxido de alumínio e o metal produzido, ocorre a separação entre ambos, com o metal liquefeito na base do cadinho e a escória de óxido de alumínio sobrenadando este metal.

6.3.2 Métodos no processo de soldagem aluminiotérmica

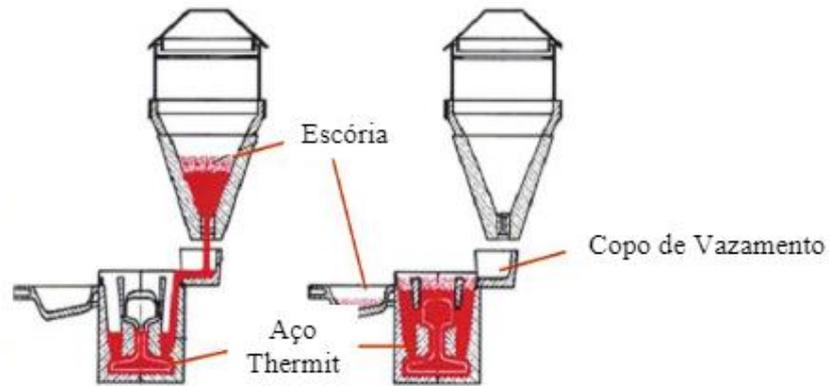
Dentro do processo Thermit® para soldagem de trilhos por meio de soldagem aluminiotérmica são empregados atualmente três métodos de serem detalhados a seguir:

O processo de soldagem Thermit® pelo método SmW-F, também conhecido como processo de soldagem com curva chata, é caracterizado por seu tempo de pré-aquecimento onde as pontas dos trilhos são envolvidas com moldes pré-fabricados e pré-aquecidos por uma fonte de calor até uma temperatura de aproximadamente 1000°C posicionada acima desses.

Dependendo do perfil do trilho a ser soldado o tempo de pré-aquecimento pode variar de quatro a oito minutos.

Devido a geometria do molde SmW-F o aço é conduzido indiretamente às seções que serão soldadas, sendo despejado inicialmente no copo de vazamento e preenchendo o molde, com o primeiro contato aos trilhos pelo Patim. A representação esquemática do processo SmW-F está representado na figura 3.

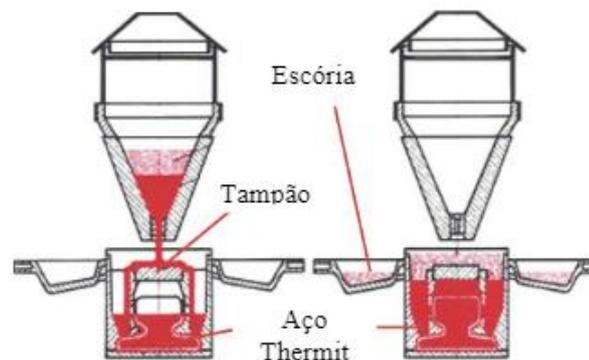
Figura 3: Representação esquemática do processo Sm W-F



Fonte: THERMIT (AUSTRÁLIA, 2010).

O processo de soldagem Thermit® pelo método SoWoS é muito parecido com o método descrito anteriormente, esses métodos foram desenvolvidos diferentemente por razões históricas, e atualmente o método SoWos é o mais utilizado dentre os três. Nesse método as pontas dos trilhos também são envolvidas pelo molde e faz-se o pré-aquecimento até a temperatura aproximada de 1000 °C utilizando uma fonte de calor apropriada posicionada acima do molde, conforme a Figura 4.

Figura 4: Representação esquemática do processo SoWoS

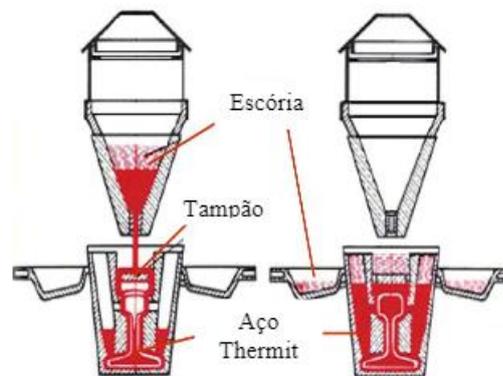


Fonte: THERMIT (AUSTRÁLIA, 2010).

No método Thermit SKv-F, utiliza-se neste processo um pré-aquecimento durante um intervalo de um minuto, através de um maçarico especial, consegue-se impedir a ocorrência de oscilações nos resultados da execução das soldas. Dessa forma criou-se um novo método denominado por processo de soldagem rápida com pré-aquecimento curto ou SKv-F. O principal objetivo do pré-aquecimento é eliminar a umidade do molde e das faces dos trilhos a serem soldados. Para compensar o curto tempo de pré-aquecimento, foi necessário um acréscimo de 50% do volume da porção de “Thermit” para o mesmo trabalho pela geometria

do molde deste método, o aço liquefeito é conduzido ao longo do topo dos trilhos a serem soldados, de forma a transferir maior quantidade de calor possível para essa região. Entre as inúmeras vantagens de soldagem com curto tempo de pré- aquecimento, pode-se destacar a diminuição das tensões longitudinais oriundas tanto da contração do trilho como na solda e a redução dos defeitos provocados por pré- aquecimento deficientes. A figura 5 mostra a representação esquemática do processo SKv-F.

Figura 5: Representação esquemática do processo SKv-F



Fonte: THERMIT (AUSTRÁLIA, 2010).

6.3.3 Equipamentos de soldagem

Basicamente são utilizados três equipamentos: cadinho, moldes e sistema de pré- aquecimento.

Figura 6: Componente para o processo de soldagem aluminotérmica



Fonte: Fábio Urzedo Silva.

6.3.4 Propriedades da soldagem aluminotérmica

A estrutura metalúrgica presente na solda aluminotérmica depende de alguns fatores como, composição química da mistura, composição dos trilhos e das taxas de resfriamento impostas ao processo. A microestrutura indicada para a solda é a perlita, embora sejam permitidas mínimas percentagens de ferrita.

6.3.5 Controle de qualidade na solda

Para a soldagem de trilhos, os fabricantes especializados fornecem as porções aluminotérmicas próprias para a soldagem de cada tipo de trilho e de acordo com a respectiva resistência à tração dos mesmos. A quantidade de aço, produzida pela reação é suficiente para a execução de soldas perfeitas, desde que observados os seguintes aspectos:

- As formas devem ser fabricadas com uso de modelos de alumínio;
- Os topos dos trilhos a soldar não podem conter ferrugem ou substâncias oleosas;
- A execução da soldagem deverá seguir rigorosamente as instruções de serviço e normas técnicas;
- Os espaços entre os topos dos trilhos deverão obedecer às instruções prescritas e os cortes devem ser feitos de modo que a face do topo do trilho;
- As porções de solda não podem ser alteradas, ou seja, somente deverão ser usadas nos volumes fornecidos.

Erros de execução resultam em falhas que às vezes são imperceptíveis exteriormente, algumas prejudiciais a qualidade da solda, como:

- Soldagem de trilhos novos a trilhos velhos pode ocasionar falhas na penetração;
- Umidade no cadinho prejudica a porção, que não reage devidamente, provocando forte porosidade na peça a ser soldada;
- Umidade na composição da solda desenvolve uma reação irregular causando porosidade e inclusão de escória.

6.3.6 Defeitos durante o processo de soldagem

A união dos segmentos de trilhos por aluminotermia gera juntas soldadas com

propriedades mecânicas inferiores às do trilho. Devido a essas características elas são consideradas como uma fonte freqüente de falhas, por estarem sujeitas a uma série de defeitos do processo de soldagem, provocando impactos sobre a confiabilidade e a segurança do serviço.

A natureza metalúrgica da solda aluminotérmica contribui para o surgimento de defeitos na junta soldada.

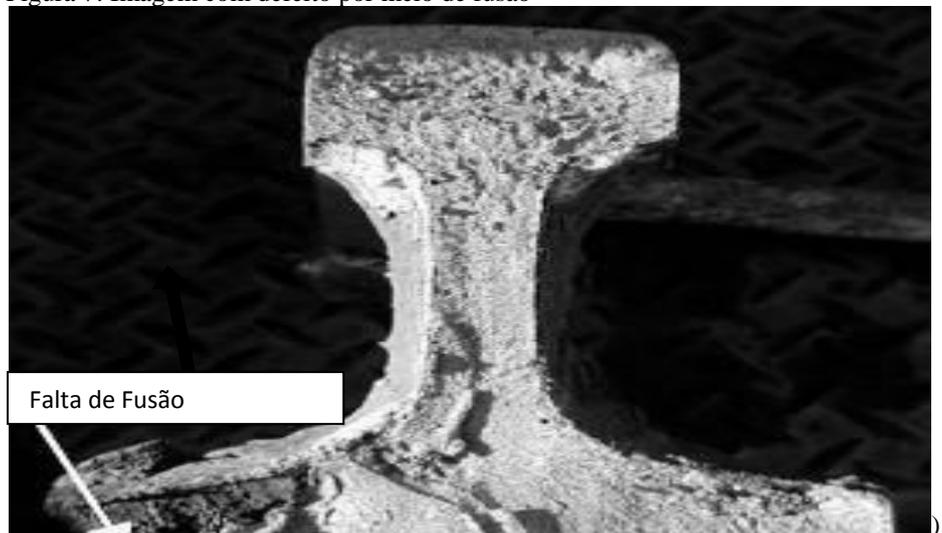
Alguns defeitos são gerados por procedimentos de soldagem ou materiais de consumo inadequados. Outros são causados por procedimentos de soldagem incorretos como rechupes, solda-fria e segregações. Há também casos em que ocorrem variações no perfil da solda causadas por severas condições de serviço que também são interpretadas como defeitos.

Alguns defeitos serão listados a seguir:

a) Falta de Fusão (*Lack of Fusion – LOF*)

A falta de fusão ocorre quando o metal líquido do material de adição não provoca soldagem completa em alguma região do trilho. A falta de fusão também pode ser provocada por parâmetros de soldagem inadequados como pré-aquecimento.

Figura 7: Imagem com defeito por meio de fusão



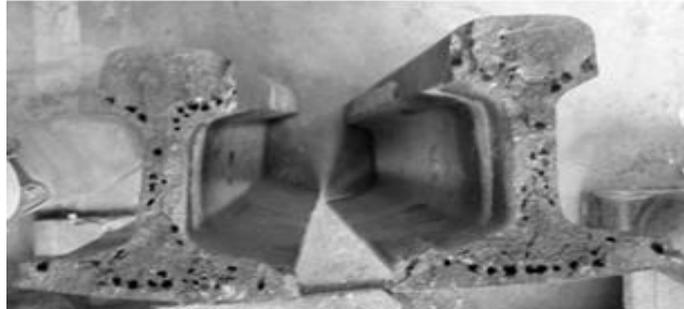
Fonte: WTIA 2010.

b) Porosidades

A porosidade em solda aluminotérmica é um defeito interno, quando em grande quantidade pode reduzir de maneira significativa a resistência da solda. O principal fator para o surgimento deste problema é a umidade, pois esta dificulta a correta reação da mistura aluminotérmica. A porosidade pode ainda ser devido ao material de vedação, insuficiente pré-aquecimento e das condições do tempo prejudiciais durante o processo de soldagem, como

exemplo, a soldagem aluminotérmica realizada em dias chuvosos, que gera grande quantidade de umidade para as soldas.

Figura 8 : Forte presença de porosidade na soldagem aluminotérmica



Fonte: WTIA 2010

6.3.7 Soldagem aluminotérmica: Vantagens e desvantagens

Como as vantagens da soldagem aluminotérmica podem ser considerados nos seguintes aspectos:

- Solda de boa qualidade;
- Flexibilidade para soldagem no campo;
- Tempo de execução pequeno no próprio local;
- Dispensa uso de energia elétrica;
- Dispensa uso de complexos aparatos e equipamentos.

As soldas podem ser feitas com as peças praticamente em qualquer posição, desde que a cavidade do cadinho tenha paredes suficientemente verticais para o metal escorrer rapidamente.

Os aspectos negativos para a soldagem utilizando-se o processo aluminotérmico:

- A necessidade de cuidados especiais quanto à segurança do operador e do local;
- A necessidade de moldes específicos para cada aplicação;
- Para peças grandes, é necessário um pré-aquecimento, além de ser necessário muito “Thermit”, ou seja, muito metal de adição para o preenchimento do espaço entre as partes, aumentando o custo da operação.

7 DESCRIÇÃO DO LOCAL A SER ANALISADO

O trecho a ser analisado será entre as SB (Seção de bloqueio ou pátio ferroviário) ERV (Estação de Ribeirão Vermelho) – Cidade de Ribeirão Vermelho em Minas Gerais e EPF (Estação de Paulo Freitas – Cidade de Ingaí) situadas na linha férrea rota do calcário pertencente ao Corredor Minas –Rio entre Arcos/MG e Barra Mansa/RJ, transportando Calcário da mina da CSN em arcos para a fábrica de cimento em Barra Mansa, em trens composto por 60 vagões HAD e HFE, tracionados por 3 locomotivas BB36 de 2000 CV, manga B composta por 6 motores elétricos, um por truque e um diesel elétrico geral, transitando em uma ferrovia de bitola métrica, traçado ondulado com curvas medias de 120 metros de raio com trilho TR 45 da marca Katovich e CSN, pregação mista, prego e pandrol, fixada em dormentes de madeira de 2 metros apoiada em lastro elástico de brita graduada.

Com transit time, médio de 36 horas de percurso velocidade média de 45 km/h.

O estudo será entre os meses de janeiro/ 2020 até março /2021.

Figura 9: Corredor Minas-Rio



Fonte: <https://www.vli-logistica.com.br/conheca-a-vli/corredores-logisticos/corredor-minas-rio>

8 PARÂMETROS PARA PESQUISA

8.1 Inspeção preventiva

Inspeção preventiva é realizada através de dados gerados através de check-list por equipamentos mecânicos, carro controle e check-list manual por ronda de linha, que são verificadas trincas abertas e possíveis trincas em abertura.

A quantidade dessas anomalias por trincas de trilhos, registrada por carro controle.

Figura 10: Carro de controle.



Fonte: Carro controle – FCA - VALE

Carro controle é uma locomotiva onde através de ondas de ultra-som e infra-vermelho detecta trincas em trilhos, que não são vistas ao olho nú.

Quantidades de trincas registradas por Auto de linha.

Figura 11: Auto de linha



Fonte: Auto de linha – FCA - VALE

Auto de linha é um veículo onde inspetores rondam em toda a linha férrea, verificando e mapeando as possíveis trincas em juntas desniveladas em curvas e tangentes.

8.2 Inspeção Corretiva

Através dos dados fornecidos pelos aparelhos de manutenção preventiva citados acima, os mesmos dados são retirados dos coletores e lançados e processados no sistema de monitoramento de via (SMV) na função GAF (Grupos de análise de falhas) que é um software interno, onde são correlacionados todos os defeitos da via permanente e através deles será feito uma análise para entender as principais falhas e geração de plano de ação com intuito de diminuir ocorrências ferroviárias, pois uma ocorrência gera risco a segurança dos colaboradores, prejuízo financeiros tantos de ativos quanto para o cliente, devido ao atraso na entrega da carga.

Figura 12: Sistema de Monitoramento de Via (SMV)



Fonte: VLI Logística.

9 ANALISES E DESDOBRAMENTO DO PROBLEMA .

9.1 Identificação do problema

Através dos check list de manutenção preventiva os dados são lançados em um sistema interno da empresa, SMV (Sistema de Monitoramento de Via)

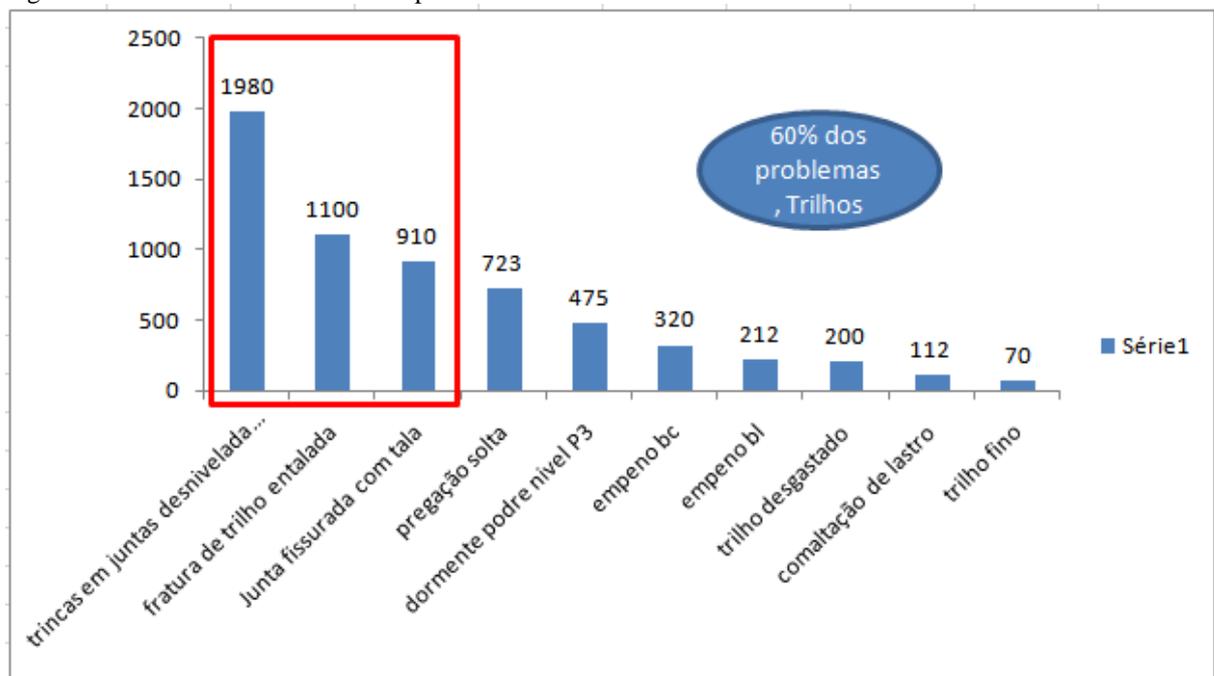
Que através de algoritmos e análises in loco, e análise conseguimos gerar um histórico do problema de janeiro a dezembro de 2020 e estratificamos o maior problema.

Figura 13: Problemas observados nos trilhos em 2020

SMV	
Gaf	
trincas em juntas desnivelada entalada	1980
fratura de trilho entalada	1100
Junta fissurada com tala	910
pregação solta	723
dormente podre nivel P3	475
empeno bc	320
empeno bl	212
trilho desgastado	200
comaltação de lastro	112
trilho fino	70

Fonte: O autor, 2021.

Figura 14: Gráfico demonstrativo dos problemas observados nos trilhos em 2020



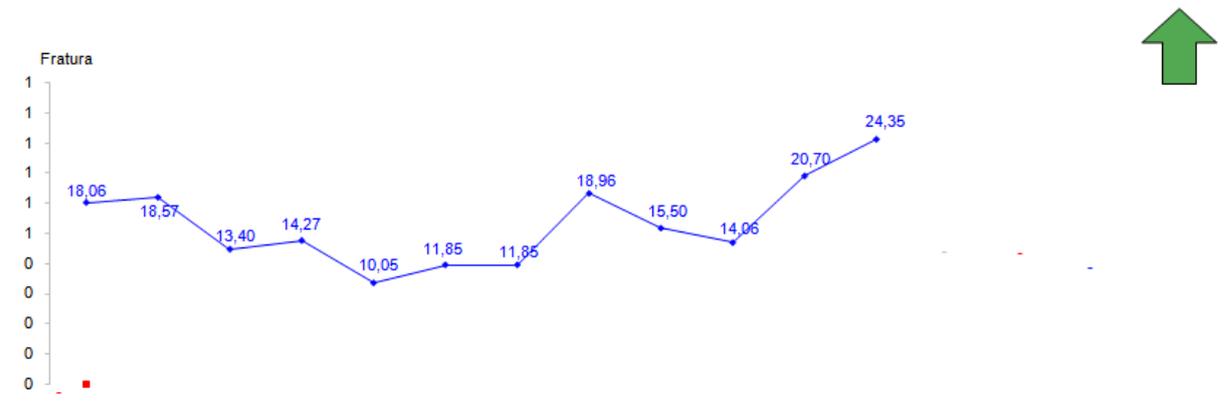
Fonte: O autor, 2021.

10 HISTÓRICO DO PROBLEMA

Através dos check list de manutenção preventiva os dados são lançados em um sistema interno da empresa, SMV (Sistema de Monitoramento de Via), que através de algoritmos e análises in loco, foi possível gerar um histórico do problema de janeiro a dezembro de 2020, onde foi possível identificar o maior problema.

Figura 15: Monitoramento do maior problema em 2020

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	s. Acum. 20	ta Acum. 20	Real Acum
SMV Ribeirao Vermelho a Paulo Freitas															
Real 2020	18,06	18,57	13,40	14,27	10,05	11,85	11,85	18,96	15,50	14,06	20,70	24,35			



Desdobramento do Problema:

Fonte: O autor, 2021.

10.1 Brainstorm

Figura 16: Meta de melhoria nos trilhos

< Diretoria de Departamento> - <Gerência>

BRAINSTORM

Meta: DIMINUIR FRATURA DE TRILHOS

CAUSAS LEVANTADAS:

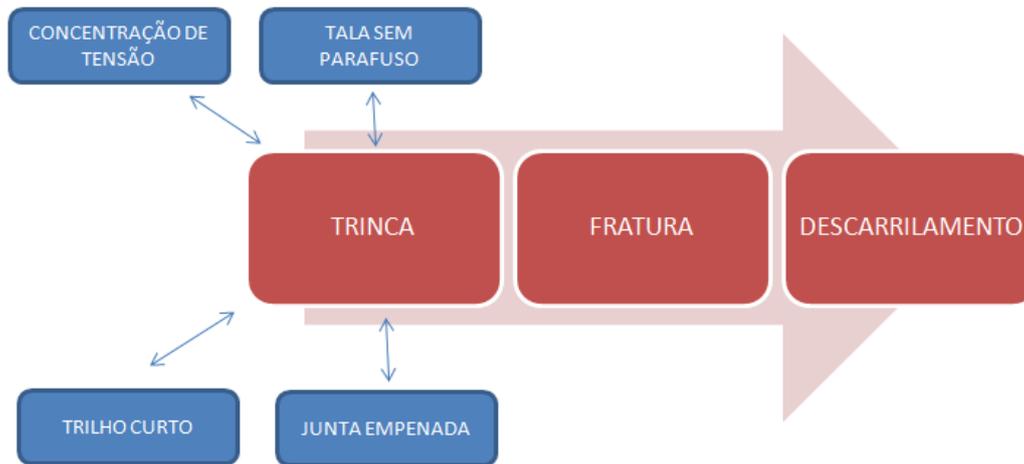
<div style="background-color: yellow; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Ribeirão vermelho/ paulo feitas</div> concentração de tensão Talas sem parafuso junta empenada trilho curto	Fratura de Trilhos Fratura de Trilhos Fratura de Trilhos Fratura de Trilhos Fratura de Trilhos Fratura de Trilhos Fratura de Trilhos
Talas Quebradas Junta desligada	

Fonte: O autor, 2021.

10.2 Análise do problema diagrama de Causa e Efeito

O Diagrama de causa e efeito demonstra as principais causas de defeitos nos trilhos.

Figura 17: Diagrama Causa e Efeito



Fonte: O autor, 2021.

11 PLANO DE AÇÃO

11.1 Técnica dos porquês

Figura 18: Técnica dos Porquês

< Diretoria de Departamento> - <Gerência>		
Meta: Fratura de trilhos		
Técnica dos Porquês		
Causa 1		
Por Que?	Motivo	O Que Fazer
TRINCA	Concentra tensão em trilho curtos e juntas	Solda Aluminoterca
Causa 2		
Por Que?	Motivo	O Que Fazer
FRATURA	Devido a trinca perde resitencia o material	Solda Aluminotermica
Causa 3		
Por Que?	Motivo	O Que Fazer
DESCARRILAMENTO	Fratura trilho, rodeiro perde a guia	Solda Aluminotercica

Fonte: VLI Logística.

11.2 Cronograma

O cronograma possibilita um plano de ação mais coordenado e preciso.

Figura 19: Plano de ação

Plano de Ação											
POR QUE	COMO	ONDE	QUEM	QUANDO 2021							
	SOLDAGEM ALUMINOTERMICA	RIBEIRÃO VERMELHO	TURMA DE MANUTENÇÃO CORRETIVA	M	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul
				P	100,00	100,00	100,00	-	-	-	-
				R	92,00	107,00	95,00	-	-	-	-
	SOLDAGEM ALUMINOTERMICA	PAULO FREITAS	TURMA DE MANUTENÇÃO CORRETIVA	M	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul
				P	100,00	100,00	100,00	-	-	-	-
				R	100,00	81,00	100,00	-	-	-	-

Fonte: VLI Logística.

12 PROCESSO DE SOLDAGEM ALUMINOTÉRMICA

12.1 Clima para aplicação

Figura 20: Condições climáticas x temperatura do trilho

Temperatura Trilho	Condições Climáticas	
	Limpo	Vento / Chuva / Neve
$> 3^{\circ} \text{ C}$	<ul style="list-style-type: none"> •Ar frio. •Tampa protetora não necessário. 	<ul style="list-style-type: none"> •Aplicar a tampa protetora*, imediatamente após rebarbagem. •Deixar tampa no lugar até a solda esfriou para baixo 400° C. (Aproximadamente 35 min.)
$< 3^{\circ} \text{ C}$ e $> 0^{\circ} \text{ C}$	<ul style="list-style-type: none"> •Antes da montagem das formas, <u>preaquecer</u> o boleto e patim (50° C) na distancia de três domentes de cada lado da solda. •Execute a solda normalmente. •Aplicar a tampa protetora* imediatamente após rebarbar. •Deixar tampa no lugar até a solda esfriou até 400° C (Aproximadamente 35 min.). 	
$< 3^{\circ} \text{ C}$	•SOLDA THERMIT® NÃO PERMITIDO.	

Fonte: VLI Logística.

12.2 Preparação

Consiste na retirada das rebarbas do boleto do trilho, retirada das talas, posterior e feito o corte e nivelamento dos trilhos com cunhas.

Figura 21: Preparação do trilho para soldagem.



Fonte: O autor, 2021.

12.3 Esmerilhamento

É necessário preparar o local onde se encontra a deformidade, para tanto é feito um corte com a esmerilhadeira para preparar a o local para solda.

Figura 22: Corte com a esmerilhadeira



Fonte: O autor, 2021.

12.4 Corte

A imagem abaixo demonstra o corte que foi feito pela esmerilhadeira.

Figura 23: Corte feiro com a esmerilhadeira



Fonte:

12.5 Limpeza

Realizar a limpeza com escova de aço e maçarico para remover a oxidação.

Figura 24: Limpeza do trilho



Fonte: O autor, 2021.

12.6 Montagem das formas

Após a limpeza e montada a prensa universal para posicionar as formas.

Figura 25: Montagem das formas



Fonte: O autor, 2021.

Figura 26: Forma montada

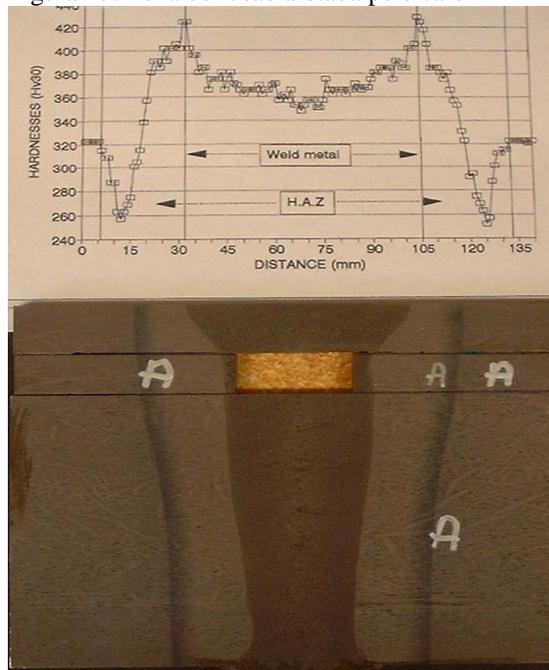


Fonte: O autor, 2021.

12.7 Pré aquecimento

A região deve ser aquecida por 6 minutos entre 400 a 600 graus.

Figura 27: Zona de fusão afetada pelo calor



Fonte: O autor, 2021.

Figura 28: Pré aquecimento



Fonte: O autor, 2021.

As pressões de trabalho são:

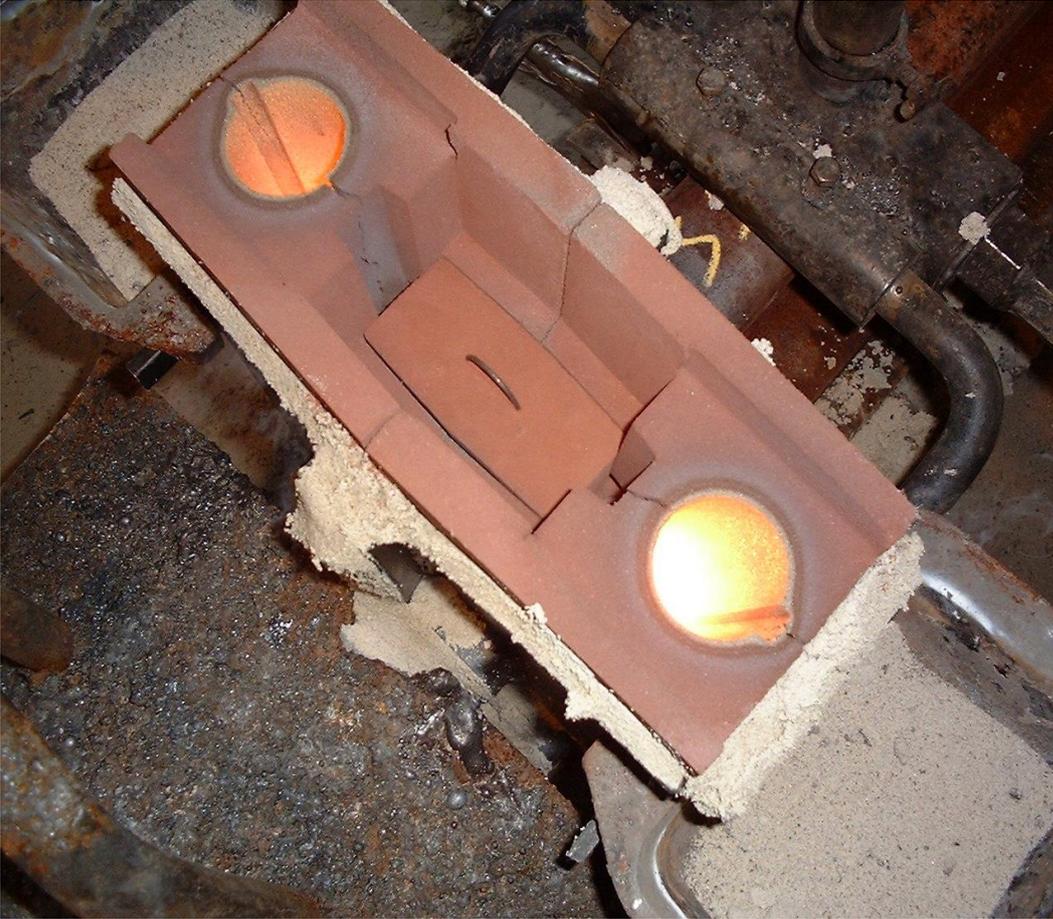
- Processo SkV-oxigênio 5 bar e gás 2 bar.
- Processo SoWoS -oxigênio 3 bar e gás 2 bar.

Para obter a pressão ideal do maçarico

- Abra totalmente as válvulas do cilindro de oxigênio e do gás;
- Ajuste pressão nos reguladores para obter a pressão ideal no maçarico;
- No maçarico, abra a válvula do oxigênio totalmente, propano ¼ de volta;
- Acenda o maçarico & ajuste a chama ate obter uma chama neutra.

Após completado o pré-aquecimento retire o maçarico e insere o tampão, verifique o assentamento correto.

Figura 29: Região aquecida



Fonte: O autor, 2021.

12.8. Reação e vazão

- Coloque o cadinho carregado em cima das presilhas.
- Coloque a alça em cima da presilha longitudinal ao trilho para garantir o alinhamento dos bujões.

Figura 30: Posicionamento do cadinho



Fonte: O autor, 2021.

- Inserir o acendedor pelo orifício da tampa, o soldador tem que usar EPI.
- Assim que a reação se iniciar se afaste em ± 5 metros.

Figura 31: Reação química da solda aluminotérmica



Fonte: O autor, 2021.

- O tempo de vazão ocorre normalmente em 23 a 28 segundos.

- Tempo aceitável e entre 15 e 35 segundos.
- Se a vazão ocorre com menos de 15 segundos e com mais de 35 segundos, a solda é considerada defeituosa e tem que ser retirada da via imediatamente.

Figura 32: Retirada da solda defeituosa



Fonte: O autor, 2021.

Depois de 3 minutos remover o cadinho e coloque-o em lugar seguro e seco

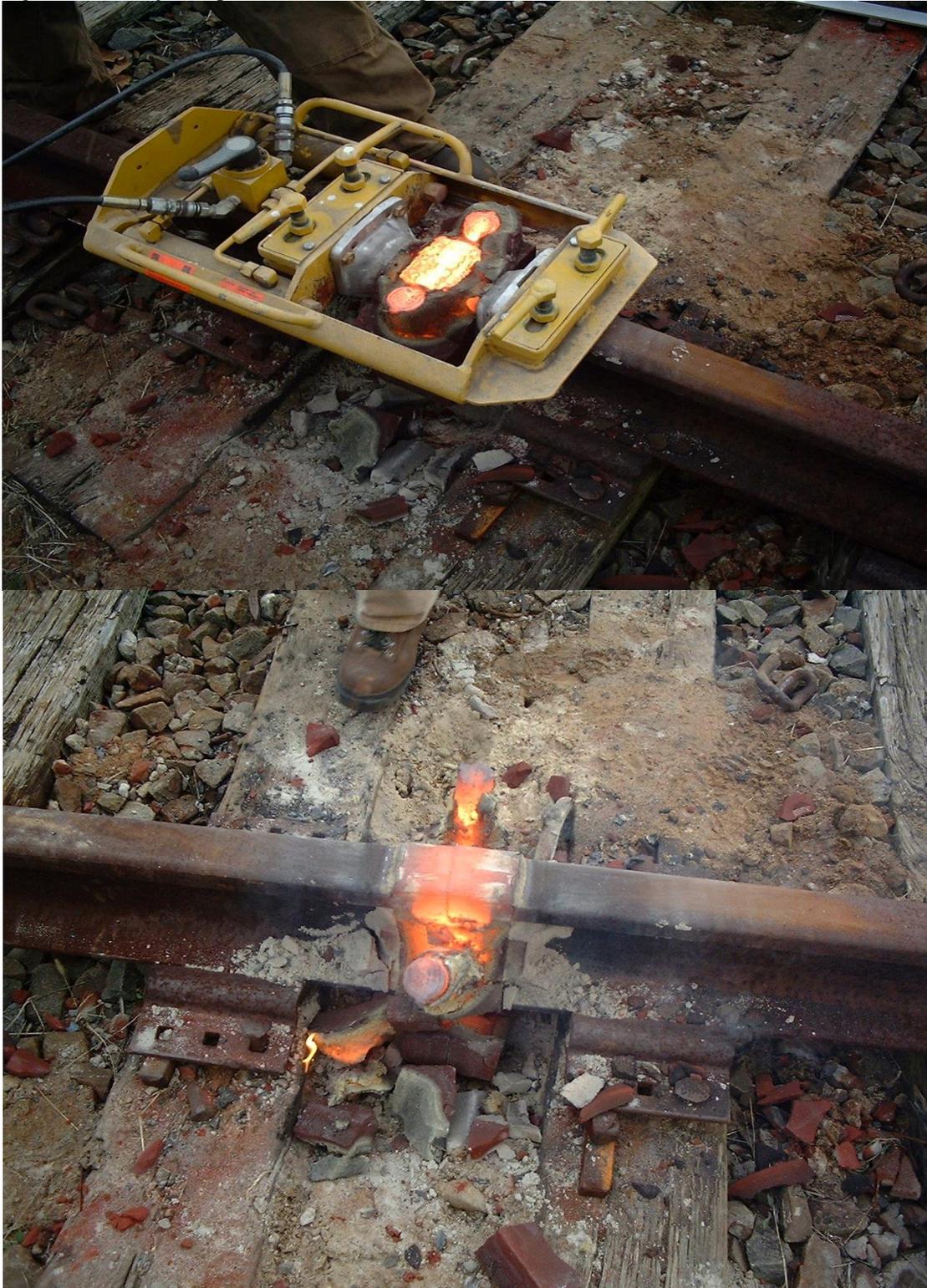
Figura 33: Remoção do cadinho



Fonte: O autor, 2021.

Depois de 5 minutos da vazão, remover a prensa universal e as presilhas.

Figura 34: Remoção da prensa universal e das presilhas



Fonte: O autor, 2021.

Logo após a retirada das formas, é colocada a rebarbadeira para o processo de corte

Figura 35: Rebarbadeira



Fonte: O autor, 2021.

Acabamento bruto é completado quando o rebolo começa a tocar no boleto dos trilhos e o acabamento lateral pode ser terminado completamente.

Figura 36: Acabamento



Fonte: O autor, 2021.

Após o acabamento bruto do boleto, as laterais podem ser completamente esmerilhadas com a máquina lateral.

Figura 37: Acabamento no boleto



Fonte: O autor, 2021.

Acabamento final: Após a solda pronta deve esperar por 50 minutos para a passagem dos trens, os mesmos devem passar com velocidade máxima de 5 km/h no primeiro dia, após 24 horas velocidade passa para 70% da velocidade média da linha, pois a velocidade será determinada pelo tipo de trilho, após 36 horas velocidade retorna ao normal.

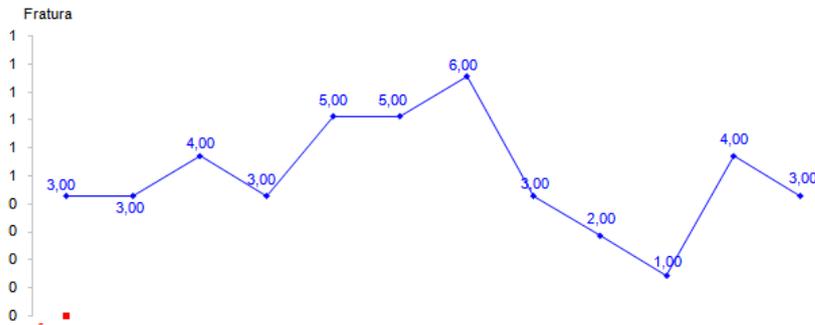
13 RESULTADOS

A aplicação de soldagem inicio do ano de 2021 no mês de janeiro, que seguiu o plano até o final do ano.

- Descarrilamentos ano 2020

Figura 38: Monitoramento dos trilhos 2021.

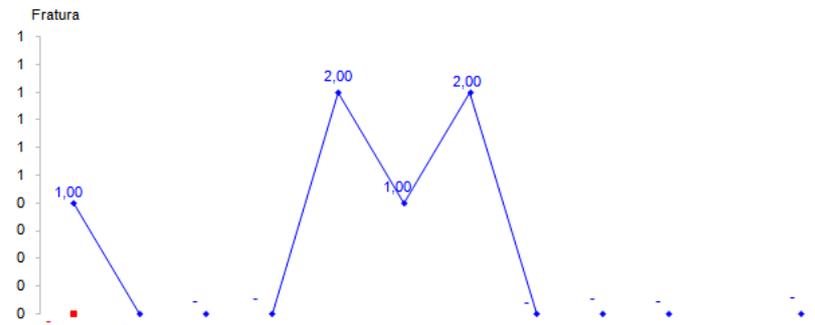
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	s. Acum.	2020
Descarrilamento														
Real 2020	3,00	3,00	4,00	3,00	5,00	5,00	6,00	3,00	2,00	1,00	4,00	3,00		



Fonte: VLI Logística.

Figura 39: Descarrilamentos ano 2021

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	s. Acum.	2021
Descarrilamento por Fratura de trilho														
Real 2021	1,00	-	-	-	2,00	1,00	2,00	-	-	-	-	-		



Fonte SMV

Resultado:

- Redução gradativa de descarrilamentos
- Redução Falhas por fratura

Figura 40: Comparativo dos monitoramentos das vias 2020 e 2021

SMV 2020 acumulado	SMV 2021 acumulado Março			
Gaf	Gaf			
trincas em juntas desnivelada entalada	1980 trincas em juntas desnivelada entalada	1108	56%	Media
fratura de trilho entalada	1100 fratura de trilho entalada	715	65%	60%
Junta fissurada com tala	910 Junta fissurada com tala	525	58%	
pregação solta	723 pregação solta	723		
dormente podre nivel P3	475 dormente podre nivel P3	475		
empeno bc	320 empeno bc	320		
empeno bl	212 empeno bl	212		
trilho desgastado	200 trilho desgastado	200		
comaltação de lastro	112 comaltação de lastro	112		
trilho fino	70 trilho fino	70		

Fonte SMV (sistema de monitoramento de via)

Resultado em mais de 60% dos números de falhas por fratura no trecho em apenas 3 meses. Garantindo a confiabilidade da linha e o tempo de transporte, (Transit Time).

14. CONCLUSÃO

Concluimos que o processo de soldagem aluminotérmica contribuiu diretamente na redução de descarrilamentos causados por fratura de trilho como apresentado por análise comparativa de sistemas. Isso ocorreu devido a soldagem de trilhos curtos e retirada de juntas da via que causa trincas e fratura possibilitando o aumento da confiabilidade da linha, melhorando a relação com o cliente por diminuir atrasos na capacidade de produção final reduzindo a quantidade de horas paradas que o trem ficava nos descarrilamentos.

REFERÊNCIAS

ABIFER, **Associação Brasileira da Indústria Ferroviária** – Disponível em: <<https://abifer.org.br/>>. Acesso em 30-03-2021 às 19:30.

ABNT – NBR 7590, **Trilho Vignole – Requisitos**. [S.I.]: **Associação Brasileira de Normas Técnicas**, 2012.

BRINA, H. L. **Estradas de ferro**. Belo Horizonte. Editora UFMG, 1988.

DNIT - **DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES**. Especificação técnica de material ETM- 005 Solda aluminotérmica. – Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/ferrovias/instrucoes-e-procedimentos/especificacoes-tecnicas-de-materiais-e-servicos-ferroviarios-etm-ets/etm-005-solda-aluminotermica.pdf> - Acesso em: 13-03-2021 às 17:10.

PORCARO, R. R. et. Al. **Microestrutura e propriedades mecânicas de um aço para trilhos ferroviários soldado por centelhamento**. **Soldagem & Inspeção**. v. 22. Editora: RIOFOP, 2017. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-92242017000100059&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 13-03-2021 às 14:21.

SEMPREBONE, Paula da Silva, 2005. **Desgastes em Trilhos Ferroviários – Um estudo Teórico**. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Estadual de Campinas – São Paulo.

ROSA. J. S. C. **Avaliação da Solda Aluminotérmica em ângulo**. Dissertação. DEMET: UFRGS, 2008.

SILVA, F. U. **Processo de soldagem aluminotérmico**. Disponível em: https://infosolda.com.br/wp-content/uploads/Downloads/Artigos/processos_solda/Processo-de-soldagem-aluminotermico.pdf - Acesso em: 14-03-2021 às 13:29.

THERMITH AUSTRÁLIA **-Welding Methods** - <http://www.thermit.com.au/brochures/weldingmethods.pdf> – Acesso em 31-03-2021.

WTIA - **Welding Technology Institute of Austrália**. “**Aluminothermic Welding Defects**”. <http://www.wtia.com.au/pdf/TGN-R-04%20Aluminothermic%20weld%20defects.pdf> Acesso em 20-04-2021 às 18:30.

<https://docs.google.com/presentation/d/1IUCtn6qu3zpg4ZiN8-r-WoxTfgnI92My/edit#slide=id.p12>