

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE**

LUCIANO CASSARO

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA, NA OCORRÊNCIA
DE FLAMBAGEM EM TRECHOS DA ESTRADA DE FERRO VITÓRIA
MINAS**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

**CURITIBA
2017**

LUCIANO CASSARO

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA, NA OCORRÊNCIA
DE FLAMBAGEM EM TRECHOS DA ESTRADA DE FERRO VITÓRIA
MINAS**

Monografia apresentada como requisito parcial
à obtenção do título de Especialista em
Engenharia da Confiabilidade, do
Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Henrique Mariano
Co-orientador: Francisco Frederico Trópia

**CURITIBA
2017**



TERMO DE APROVAÇÃO

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA, NA OCORRÊNCIA DE FLAMBAGEM EM TRECHOS DA ESTRADA DE FERRO VITÓRIA MINAS

LUCIANO CASSARO

Esta monografia foi apresentada em 10 de novembro de 2017, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Engenharia da Confiabilidade, outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O aluno foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Emerson Rigoni, Dr. Eng.
Professor Orientador - UTFPR

Prof. Carlos Henrique Mariano Dr.
Membro Titular da Banca - UTFPR

Prof. Marcelo Rodrigues Dr.
Membro Titular da Banca - UTFPR

O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso.

Dedico esta conquista à minha esposa Suellen,
que acredita nos meus sonhos e está sempre ao
meu lado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por iluminar meus caminhos, me mostrando as escolhas corretas.

Agradeço a minha família, em especial meus pais Walmor e Leoclécia, pela determinação e exemplos que fazem parte de meu aprendizado na vida, sempre zelando pela minha educação.

A minha esposa Suellen, pela dedicação em manter o equilíbrio da família nas minhas ausências.

Ao meu estudioso irmão Kleber, pelo exemplo de disciplina e perseverança.

Ao Engenheiro Francisco Trópia, pela dedicação e empenho na rotina da manutenção da ferrovia envolvida no tema.

Agradeço a equipe da Supervisão de Confiabilidade de Via Permanente da Estrada de Ferro Vitória Minas, pelos desafios impostos, pela necessidade de abordar este tema e nas soluções que sempre conseguimos chegar.

Aos orientadores Professor Dr. Carlos Henrique Mariano e Professor Dr. Marcelo Rodrigues pelos direcionamentos fundamentais para a conclusão deste trabalho.

Agradeço o Professor Dr. Emerson Rigoni pela experiência e postura ao conduzir o curso, contribuindo nesta trajetória.

Aos meus colegas de sala, pelas trocas de experiências.

A todos o meu muito obrigado!

As pessoas que vencem neste mundo são as que procuram as circunstâncias de que precisam e, quando não as encontram, as criam. (SHAW, Bernard, 1925)

RESUMO

CASSARO, Luciano. Análise da influência da temperatura, na ocorrência de flambagem em trechos da Estrada de Ferro Vitória Minas. 2017. 69 folhas. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

Existem diversas maneiras para monitorar a condição de ativos da superestrutura da ferrovia. Inspeções visuais, medições com aparelhos manuais, medições com equipamentos de grande porte ou sensores instalados na malha ferroviária. Associados a estes métodos, é primordial possuir parâmetros determinam ações a serem implementadas, podendo ser imediata ou programada, com objetivos comuns entre custo e segurança operacional. Este trabalho utiliza resultados de três sensores de temperaturas instalados nos trilhos da Estrada de Ferro Vitória a Minas associados ao modo de falhas de flambagens de via ocorridas em períodos de incidência de altas temperaturas. A metodologia utilizada é orientada pelo Método de Análise de Dados de Vida, onde a falha é correlacionada não com o tempo, mas com a máxima temperatura registrada no dia da falha. A análise tem por objetivo determinar a probabilidade de ocorrência de flambagens em função das máximas temperaturas registradas nos trilhos e a temperatura de gatilho para acionar a inspeção preventiva na ferrovia.

Palavras-chave: Ferrovia. Confiabilidade. Flambagem nos trilhos. Inspeção. Monitoramento.

ABSTRACT

CASSARO, Luciano. Analysis of the Influence of Temperature on the Occurrence of Buckling in Estrada de Ferro Vitória a Minas. 2017. 69 pages. Monograph (Specialization in Reliability Engineering) – Federal Technological of Paraná. Curitiba, 2017.

There're several ways to monitor the asset condition of the railway superstructure. Visual inspection, manual instrument measurements, measurements with machine of way or sensors installed in the railway network. Associated with these methods, it's paramount to have parameters that determine actions to be implemented, which can be immediate or programmed, with common objectives between cost and operational safety. This work uses results from three temperature sensors installed in Estrada de Ferro Vitória a Minas associated with the failure mode with buckling of rail occurring during periods of high temperature incidence. The methodology used is oriented by the Life Data Analysis Method, where the failure is correlated not with time but with the maximum temperature recorded on the day of failure. The purpose of the analysis is to determine the probability of occurrence of buckling in function of the maximum temperatures recorded in the rails and the trigger temperature to move the preventive inspection in the railroad.

Palavras-chave: Railroad. Reliability. Buckling of rail. Inspection. Monitoring.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sistemas Produtivos de Minério de Ferro Companhia Vale no Brasil	15
Figura 2 – Mapa Localização Estrada de Ferro Vitória Minas	15
Figura 3 – Componentes da Superestrutura Ferroviária	23
Figura 4 – Flecha em curva ferroviária	26
Figura 5 – Representação Gráfica de defeito de alinhamento.	27
Figura 6 – Representação Gráfica da flambagem em relação ao eixo longitudinal....	28
Figura 7 – Ilustração da variação de comprimento do trilho devido a temperatura ...	29
Figura 8 – Ilustração do Sistema de Registro de Temperaturas nos Trilhos na EFVM	33
Figura 9 – Locais de instalação dos Termômetros	34
Figura 10 – Painel inicial do Sistema Informatizado de Registro de Falhas	35
Figura 11 – Distribuições Estatísticas.....	38
Figura 12 – Painel do Sistema de Histórico de Temperatura	43
Figura 13 – Amostra da Saída dos Dados do Sistema de Registro de Temperatura	Erro! Indicador não definido.
Figura 13 – Amostra da Saída dos Dados do Sistema de Registro de Temperatura	44
Figura 14 – Dados de Falhas e Suspensões Termômetro Vitória	49
Figura 15 – Cálculo da Temperatura Média de Falha Termômetro Vitória.....	51
Figura 16 – Dados de Falhas e Suspensões Termômetro de Governador Valadares	51
Figura 17 – Cálculo da Temperatura Média de Falha Termômetro de Governador Valadares	53
Figura 18 – Dados de Falhas e Suspensões Termômetro de Ipatinga	54
Figura 19 – Cálculo da Temperatura Média de Falha Termômetro Ipatinga	55
Figura 20 – Cálculo da Probabilidade de Falhas.....	58

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1 – Flambagem na ferrovia.....	17
Fotografia 2 – Deslocamento de Trilhos.....	30
Fotografia 3 – Defeitos superficiais em Trilhos.....	31
Fotografia 4 – Lastro de brita insuficiente.....	31
Fotografia 5 – Identificação de falha através da inspeção.....	33
Fotografia 6 – Centro de Controle Operacional da Estrada de Ferro Vitória Minas ..	35

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Produção de Transporte Ferroviário. Carga Transportada (x10 ³ em Tonelada Útil) de 2006 até agosto 2016.....	16
Quadro 2 – Amostra de dados preparados para lançar no Software	48
Quadro 3 – Variação de probabilidade de falhas em função da temperatura por abrangência de termômetros.....	59
Quadro 4 – Hora Média da Ocorrência de Temperatura de Alerta (59 °C) no Termômetro de Vitória.....	60
Quadro 5 – Hora Média da Ocorrência de Temperatura de Alerta (56 °C) no Termômetro de Governador Valadares.....	61
Quadro 6 – Hora Média da Ocorrência de Temperatura de Alerta (56°C) no Termômetro de Ipatinga	61
Quadro 7 – Taxa de Acréscimo de temperatura por hora	63
Quadro 8 – Quadro Resumo do Gatilho de Acionamento das Equipes de Inspeção	65
Quadro 9 – Resumo de Dados para Acionamento de Inspeção	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Falhas para Estudo	42
Tabela 2 – Registro de Falhas e Temperaturas no Trecho de Vitória	45
Tabela 3 – Registros de Falhas e Temperaturas no Trecho de Governador Valadares	46
Tabela 4 – Registros de Falhas e Temperaturas no Trecho de Ipatinga.....	47

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Evolução das Ocorrências de Flambagens na EFVM de janeiro de 2014 a março de 2017.....	18
Gráfico 2 – Temperatura nos trilhos	28
Gráfico 3 – Probabilidade de Falha e Temperatura Termômetro de Vitória	50
Gráfico 4 – Histograma de Temperaturas Termômetro de Vitória	50
Gráfico 5 – Probabilidade Falha e Temperatura Termômetro de Governador Valadares	52
Gráfico 6 – Histograma de Ocorrência de Temperaturas Termômetro de Governador Valadares	52
Gráfico 7 – Probabilidade Falha e Temperatura Termômetro de Ipatinga.....	54
Gráfico 8 – Histograma de Ocorrência de Temperaturas Termômetro de Ipatinga ...	55
Gráfico 9 – Gráfico Função Densidade de Probabilidade dos termômetros de Vitória, Governador Valadares e Ipatinga.....	56
Gráfico 10 – Gráfico Probabilidade de Falha em Função da Temperatura dos termômetros de Vitória, Governador Valadares e Ipatinga.....	57
Gráfico 11 – Gráfico ilustrativo da taxa de acréscimo de temperatura	62

LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

ANTT	Agência Nacional de Transporte Terrestres
EFVM	Estrada de Ferro Vitória Minas
MLE	Máxima verossimilhança
°C	Graus Celsius
h	Hora
T	Temperatura

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	ASPECTOS GERAIS	14
1.1.1	Áreas de Negócios	17
1.2	PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA	19
1.3	OBJETIVOS	19
1.3.1	Objetivo Geral.....	19
1.3.2	Objetivos Específicos	20
1.4	JUSTIFICATIVA	20
1.5	PROCESSO METODOLÓGICO.....	21
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO	22
2	SUPERESTRUTURA FERROVIÁRIA	23
2.1	SUPERESTRUTURA FERROVIÁRIA	23
2.1.1	Lastro	24
2.1.2	Dormente.....	24
2.1.3	Fixação.....	24
2.1.4	Trilho	24
2.1.5	Características da Superestrutura da EFVM	24
2.2	GEOMETRIA DE VIA	25
2.2.1	Elementos que definem a geometria de via.....	26
2.3	FLAMBAGEM.....	27
2.3.1	Agentes Causadores da Flambagem	28
2.3.2	Alternativas de Ações Mitigadoras	32
2.4	FONTE DE DADOS.....	32
2.4.1	DADOS DE TEMPERATURAS	33
2.4.2	ABRANGÊNCIA DOS TERMÔMETROS.....	34
2.4.3	DADOS DAS FALHAS	35
2.5	CONSIDERAÇÕES E SÍNTESE DESTE CAPÍTULO.....	36
3	METODOLOGIA APLICADA	37
3.1	VIDA ÚTIL DO COMPONENTE	37
3.2	ANÁLISE DE DADOS DE VIDA	38
3.3	DADOS DISPONÍVEIS.....	39
3.3.1	Dados Completos.....	39
3.3.2	Dados Incompletos ou Censurados.....	39
3.4	CONFIABILIDADE DA VIA PERMANENTE DIANTE DAS OCORRÊNCIAS DE FLAMBAGENS	39
3.5	RESUMO DO CAPÍTULO.....	40
4	RESULTADOS: CÁLCULOS, ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO	42
4.1	REGISTROS	42
4.1.1	Falhas.....	42
4.1.2	Temperaturas	43
4.1.3	Abrangência dos Termômetros	44

4.2	PREPARAÇÃO DE DADOS.....	45
4.3	DADOS COMPLEMENTARES.....	48
4.4	RESULTADOS E ANÁLISES	48
4.4.1	RESULTADOS	49
4.4.1.1	Trecho de abrangência do termômetro de Vitória	49
4.4.1.2	Trecho de Abrangência do Termômetro de Governador Valadares	51
4.4.1.3	Trecho de Abrangência do Termômetro de Ipatinga	53
4.5	COMPARAÇÕES DOS TRECHOS	56
4.6	PROBABILIDADES DE FLAMBAGENS POR TRECHO	58
4.7	DEFINIÇÃO DO ACIONAMENTO DE EQUIPES	59
4.7.1	Gatilho para Acionamento das Equipes de Inspeção	59
4.8	CÁLCULO DO MOMENTO DO ACIONAMENTO.....	60
4.8.1	CÁLCULO DA HORA MÉDIA QUE OCORREM AS TEMPERATURAS DE ALERTA.....	60
4.8.2	DEFINIÇÃO DO MOMENTO DE ACIONAMENTO	62
4.8.3	GATILHO DE ACIONAMENTO	64
4.9	RESUMO DO CAPÍTULO.....	66
5	CONCLUSÕES	67
5.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	67
5.2	SUGESTÕES PARA OUTROS TRABALHOS.....	68
	REFERÊNCIAS.....	69

1 INTRODUÇÃO

A globalização, expansão das operações, inovações tecnológicas e responsabilidade social, somadas com aspectos como qualidade, logística e vantagens referentes ao custo produtivo, têm ocupado lugar de destaque na composição do diferencial competitivo entre as empresas que atuam em fortes cadeias produtivas e com elevados volumes operacionais envolvidos.

Em particular, a configuração do mercado de minério de ferro transoceânico tem criado condições próprias na determinação da competitividade do setor e na definição de quem estará mais apto a atender a demanda futura.

As exportações brasileiras de minério de ferro e seus concentrados em 2016 atingiram um volume recorde de 373,962 milhões de toneladas, aumento de 1,7 por cento em relação a 2015, disse nesta segunda-feira o secretário de Comércio Exterior do país, Abrão Neto, durante apresentação dos números da balança comercial. (GOY, Leonardo. Brasil tem exportação recorde de minério de ferro em 2016. Disponível em: <http://exame.abril.com.br/economia/brasil-tem-exportacao-recorde-de-minerio-de-ferro-em-2016/>. Acesso em: 07 mar. 2017.)

Com este cenário as empresas vivem em constante melhoria na agilidade e na capacidade de atender aos requisitos do mercado do seu produto.

A Vale mantém suas operações de forma a cumprir as exigências externas, tanto de qualidade quanto de volume, ancorada na eficiência operacional de suas atividades dentro da cadeia produtiva do seu principal produto que é o minério de ferro.

1.1 ASPECTOS GERAIS

As operações de Minério de Ferro da Companhia Vale no Brasil englobam três sistemas produtivos chamados de Sistema Norte, Sistema Sudeste e Sistema Sul.

Para garantir agilidade e segurança na sua cadeia produtiva e no transporte da produção, as minas, ferrovias, portos e navios são integrados para garantir o fornecimento de produtos para seus clientes internos e externos.

Figura 1 – Sistemas Produtivos de Minério de Ferro Companhia Vale no Brasil



Fonte: Intranet Vale (2017).

A Figura 1 ilustra a distribuição das operações da Companhia Vale no escoamento da produção no país.

A Estrada de Ferro Vitória Minas (EFVM) faz parte do Sistema Sudeste que é fundamental para o escoamento da produção do interior de Minas Gerais - onde estão as jazidas de minério de ferro na região chamada Quadrilátero de Ferrífero - até o Estado do Espírito Santo fazendo a conexão de Minas Gerais para o Porto de Tubarão. A partir do porto de Tubarão os volumes de minério são distribuídos aos clientes mundiais da Vale.

Além do transporte de cargas, a EFVM mantém o único trem de passageiros diário no Brasil, ligando duas capitais: Vitória e Belo Horizonte.

Figura 2 – Mapa Localização Estrada de Ferro Vitória Minas



Fonte: Intranet Vale (2017).

A Figura 2 demonstra a localização e abrangência da EFVM nos estados do Espírito Santo e de Minas Gerais na região sudeste do Brasil onde circulam os trens carregados com de minério de ferro, cargas gerais e o trem de passageiros.

Considerada uma das mais produtivas do Brasil e modernas do mundo, tem 905 quilômetros de extensão com 314 locomotivas e 19.150 vagões. Nela circulam pelo menos 60 tipos de produtos, como minério de ferro, aço, soja, fertilizantes, carvão, calcário, entre outros.

As ferrovias operadas pela Vale estão entre os grandes diferenciais competitivos da empresa e a EFVM faz parte deste contexto da Companhia com carga por eixo de 27, 5 toneladas com bitola métrica.

Além das mais de 20 minas, a Vale opera no estado a Estrada de Ferro Vitória a Minas (EFVM). Considerada uma das mais eficientes e produtivas ferrovias do país, a EFVM cruza diversas cidades mineiras. Sobre os seus 905 km de extensão passam 40% de toda a carga ferroviária brasileira. A ferrovia também é meio de transporte para cerca de 1 milhão de passageiros por ano. O estado também é rota de outras duas ferrovias: a FCA (Ferrovia Centro Atlântica) e a MRS. (VALE, Portal. Vale no Mundo. Disponível em <http://www.vale.com/brasil/pt/aboutvale/across-world/paginas/default.aspx>. Acesso em: 02 mar. 2017).

A produção desta ferrovia é semelhante a outros sistemas que possuem maiores cargas por eixo e bitola. Sua eficiência é comprovada nos valores de produção anual.

Quadro 1 – Produção de Transporte Ferroviário. Carga Transportada (x10³ em Tonelada Útil) de 2006 até agosto 2016.

Concessionárias	Ano										
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016*
ALLMN	5.551	6.928	8.232	10.072	10.498	11.611	13.952	14.416	15.010	16.747	11.202
ALLMO	3.355	2.690	3.235	2.778	4.430	4.421	3.932	4.625	5.600	4.560	2.347
ALLMP	4.221	3.473	5.229	4.917	6.719	7.490	6.702	5.336	5.440	4.734	3.351
ALLMS	28.942	26.536	26.763	26.073	25.975	27.067	24.192	22.940	21.554	20.938	12.630
EFC	92.591	100.361	103.670	96.267	104.949	114.543	117.726	115.006	118.454	134.713	99.746
FERROESTE	1.511	862	996	646	471	400	306	285,141	506,698	369	384
EFVM	131.620	136.604	133.211	104.317	131.755	133.462	133.187	125.296	126.185	132.976	84.542
FCA	15.177	18.957	19.280	17.455	21.242	18.958	22.254	24.290	24.192	26.128	17.393
FNS	0	0	1.424	1.639	2.012	2.541	2.934	3.215	4.370	5.428	4.189
FTC	2.627	2.635	3.038	2.856	2.637	2.448	2.968	3.240	3.854	3.527	1.987
FTL	1.519	1.814	1.643	1.467	1.529	1.431	1.389	1.212	1.218	1.220	872
MRS	101.998	114.064	119.799	110.954	123.030	130.009	131.404	130.906	138.827	139.695	95.001
TOTAL	389.113	414.925	426.520	379.441	435.248	454.380	459.947	450.767	465.211	491.035	333.645

Fonte: Agência Nacional de Transporte Terrestres (2016)

O Quadro 1 apresenta a comparação de tonelage transportada entre as ferrovias do Brasil ao longo de 10 anos fornecida pela Agência Reguladora de Transporte Terrestres (ANTT). A EFVM se destaca entre as três Concessionárias com maiores volumes transportados.

1.1.1 Áreas de Negócios

A ferrovia é composta por diversos sistemas e sub sistemas que interagem de forma dinâmica e complexa. A visão básica em área de negócios para sua melhor gestão pode ter a seguinte divisão:

- Operação e Controle de Tráfego
- Via Permanente
- Locomotivas
- Vagões
- Máquinas de Via
- Eletroeletrônica
- Carros de Passageiros

Destacando entre as áreas de negócios, a via permanente é dividida em infraestrutura e superestrutura.

As falhas denominadas flambagem ocorrem na superestrutura da ferrovia e configuram como desalinhamento dos trilhos.

Fotografia 1 – Flambagem na ferrovia

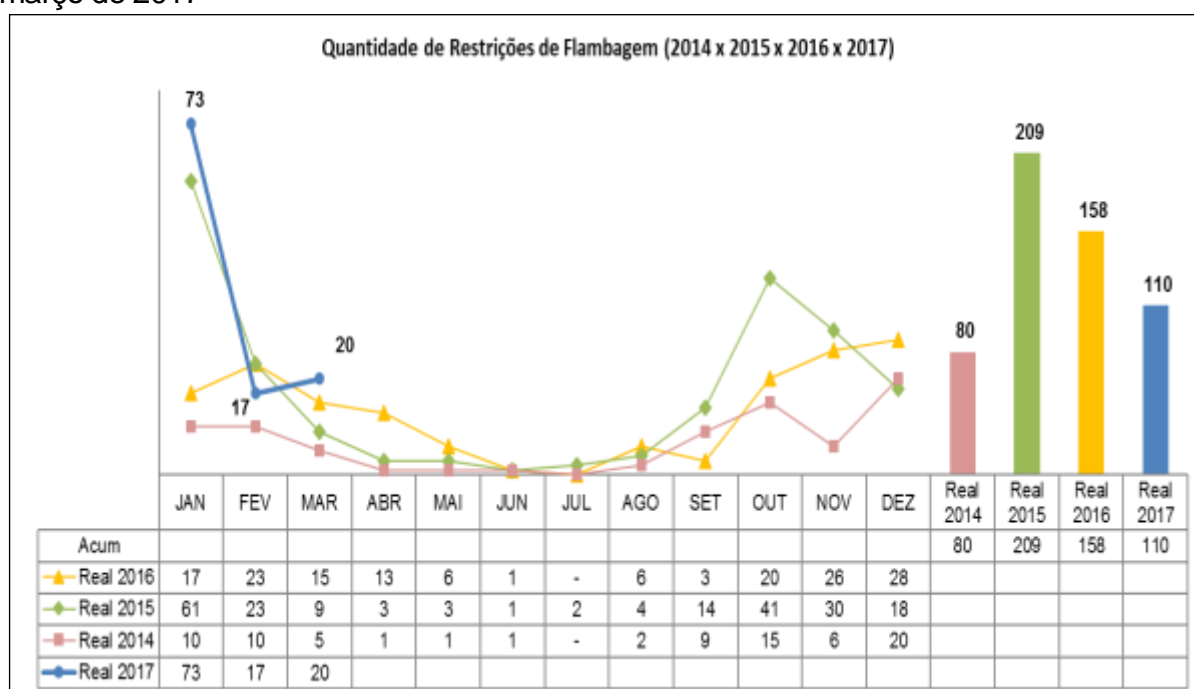


Fonte: O autor (2017).

Quanto maior a for o deslocamento lateral dos dormentes e trilhos em relação a sua posição de projeto ou em relação a suas adjacências maior é a gravidade. Como exemplo, a Fotografia 1 ilustra a variação de continuidade geométrica dos trilhos ocorrida na EFVM no mês de janeiro de 2017.

Historicamente na Estrada de Ferro Vitória Minas, este fenômeno ocorre com maior frequência entre os meses de outubro e março.

Gráfico 1 – Evolução das Ocorrências de Flambagens na EFVM de janeiro de 2014 a março de 2017



Fonte: Supervisão de Confiabilidade de Superestrutura de Via Permanente EFVM (2017).

No Gráfico 1, verifica-se que em janeiro e março de 2017 as ocorrências foram maiores em relação ao mesmo período nos anos anteriores. Esta evolução demonstra estar crescente e justifica a importância do estudo, pois impacta nas operações de circulação e produção do minério de ferro.

Para manter a EFVM competitiva, visto sua importância no cenário da Companhia Vale, é importante aplicar os conceitos de análise de dados de Vida para encontrar a temperatura característica de cada sub trecho que acontecem as falhas (flambagens) para definir estratégias de atuação.

Como a ferrovia é extensa e as inspeções demandam equipamentos e recursos humanos, os resultados alcançados neste trabalho serão os direcionadores para acionar

ou não as equipes de inspeção e conhecer a atual capacidade de resistência dos trechos em relação as respectivas temperaturas.

1.2 PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA

Na região Sudeste do Brasil ocorrem altas temperaturas nos meses da estação de verão causando em certos trechos da EFVM registro de 61 °C (graus Celsius) nos trilhos. A alta temperatura se destaca como sendo um dos principais fatores contribuintes de flambagens.

Serão utilizadas as informações das máximas temperaturas diárias medidas através de três termômetros instalados nos trilhos com as ocorrências de falhas (flambagens) para realizar os cálculos.

Como a ferrovia apresenta alguns trechos com baixa resistência de suporte devido atuação desta temperatura na dilatação dos trilhos, o trabalho será focado nas seguintes interrogativas:

Os diversos trechos da ferrovia apresentam a mesma relação falha *versus* temperatura?

O momento de acionamento para inspeção será baseado em qual gatilho ou temperatura?

As temperaturas podem retratar a condição de deficiência de ancoragem da superestrutura?

Estas interrogativas serão utilizadas para alcançar os objetivos do trabalho.

1.3 OBJETIVOS

A influência da máxima temperatura na ocorrência de falhas é o principal fator a ser estudado.

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é definir as temperaturas que ocasionam as falhas por flambagem nos sub trechos da ferrovia através de cálculos estatísticos baseado nas

leituras dos termômetros e nos registros de falhas realizado pelo Centro de Controle Operacional da EFVM.

1.3.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos para o trabalho serão:

- Identificar os valores de temperaturas e respectivos horários que acontecem as flambagens nas regiões onde os termômetros estão instalados;
- Calcular a probabilidade de ocorrer flambagem em relação as temperatura ao longo do dia nos trechos de abrangência dos termômetros;
- Definir a temperatura e horário para iniciar a inspeção dos ativos da ferrovia;
- Estudar a melhor utilização dos recursos de equipamentos e de Homem-hora.

Estes resultados auxiliam o gerenciamento do risco na ferrovia em duas maneiras: uma de forma inicial para emitir alertas aos maquinistas sobre a probabilidade de ser encontrada uma flambagem ao longo do percurso vinculada a máxima temperatura no dia e outra é definir o momento e temperatura ideal para acionar equipes de inspeção para identificar situações que configurem risco operacional.

1.4 JUSTIFICATIVA

A eficiência operacional da logística no mercado de minério é imprescindível para manter o volume solicitado pelos clientes. A disponibilidade da malha ferroviária é um fator de grande criticidade para este negócio e a flambagem afeta a plena capacidade da superestrutura que ocorre com maior intensidade nos períodos de elevadas temperaturas.

Kardec (2004) destaca que as organizações estão desenvolvendo constantemente novas ferramentas de gerenciamentos que lhes proporcionam maior competitividade por meio da qualidade e produtividade de seus produtos, processos e serviços.

Em certos níveis, este modo de falha eleva o risco operacional, tornando necessário determinar ações para identificá-la previamente, pois na EFVM não existem sensores instalados para avaliar a anomalia e a extensão a ser percorrida é

considerável – 1.500 quilômetros. Branco Filho (2008) comenta que os métodos de manutenções precisam ser monitorados frequentemente, a fim de evitar desvios, pois o custo da falha de equipamento é alto.

Com este estudo, será possível relacionar a ocorrência de falha em relação a máxima temperatura de cada sub trecho para direcionar equipes de manutenção nos locais com alto risco de ocorrências de flambagens.

1.5 PROCESSO METODOLÓGICO

Uma pesquisa só existe através do levantamento de dúvidas referentes a algum tema e as suas respostas buscam meios que levem o pesquisador a algum lugar com o seu trabalho científico.

Definido o problema anteriormente descrito e classificados conforme Gil (2008), as pesquisas podem ser em dois tipos: quanto aos objetivos e quanto aos procedimentos técnicos.

Quanto aos objetivos, esta pesquisa será descritiva, pois torna necessário descrever as características das ocorrências do fenômeno. A temperatura será o fator característico principal deste estudo e serão utilizadas técnicas padronizadas de coleta de dados através sensores automáticos de registros de temperaturas nos trilhos e relatórios diários de ocorrências de falhas com causa flambagem.

Quanto ao procedimento técnico, dentre os diversos modos que podem ser explorados, destaca-se pelo método Levantamento, onde Gil (2008) define que mediante análise quantitativa obtém-se as conclusões correspondentes aos dados coletados. Quanto o levantamento recolhe-se informações de todos os integrantes do universo pesquisado. Tem-se um censo.

Para este estudo, tem-se o total de registros de máximas temperaturas diárias nos trilhos gerados por 3 termômetros instalados em Vitória no estado do Espírito Santo, Governador Valadares e Ipatinga no estado de Minas Gerais, caracterizando o censo de dados possíveis entre outubro de 2016 e março de 2017. Para as falhas, está disponível os dados do Centro de Controle Operacional no mesmo período

Em detalhes, isso segue tratado no capítulo segundo.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho será composto por cinco capítulos com os seguintes conteúdos:

- Capítulo 1 Introdutório
- Capítulo 2 Fundamentação Teórica de Superestrutura Ferroviária
- Capítulo 3 Fundamentos Teórico Engenharia de Confiabilidade
- Capítulo 4 Cálculos e Resultados
- Capítulo 5 Conclusão Final

O capítulo 1, introdutório, aborda de forma geral onde o problema é apresentado dentro do Negócio Ferrovia da Companhia Vale. As premissas são definidas e os objetivos a serem alcançados são detalhados. Na justificativa consta a importância do assunto na operação ferroviária.

Conceitos básicos de engenharia ferroviária para subsidiar o conceito da flambagem na ferrovia constam no segundo capítulo.

No capítulo 3, evidencia-se conceitos de Engenharia de Confiabilidade para aplicar nos dados apresentados no trabalho.

Os cálculos para chegar ao objetivo do trabalho são realizados no Capítulo 4, onde são utilizados os conceitos e informações apresentadas nos capítulos anteriores e submetidos a análise estatística.

No capítulo 5 as conclusões finais e sugestões para trabalhos futuros são apresentados.

2 SUPERESTRUTURA FERROVIÁRIA

Para familiarizar e melhorar os entendimentos técnicos do capítulo 01, serão descritos os conceitos de superestrutura ferroviária e as causas das flambagens.

2.1 SUPERESTRUTURA FERROVIÁRIA

É a superfície de rolamento da ferrovia e que se constitui do lastro, dormentes, trilhos e fixações.

Brina (1988) descreve que a superestrutura das estradas de ferro é constituída pela via permanente que está sujeita a ação do desgaste de rodas dos veículos e do meio (intempéries). Os elementos principais são o lastro, o dormente, os trilhos e as fixações.

Figura 3 – Componentes da Superestrutura Ferroviária



Fonte: O autor (2017).

A Figura 3 mostra os componentes típicos da superestrutura da ferrovia da EFVM com dormentes de aço unidos aos trilhos com grampos de fixação e assentados sobre lastro de brita.

2.1.1 Lastro

Uma das principais funções do lastro é distribuir uniformemente à plataforma ferroviária a pressão exercida pela passagem dos trens junto à rede ferroviária (trilhos, fixações e dormentes), oferecendo resistência e mantendo o conjunto estabilizado contra os deslocamentos verticais, laterais e longitudinais. Ele evita que a tensão admissível da plataforma seja ultrapassada, amortece as ações e vibrações introduzidas pelos veículos sobre a via, permite a drenagem, protege os dormentes e demais materiais da superestrutura. Pode ser de pedra britada e escórias.

2.1.2 Dormente

Tem a função de receber e transferir ao lastro os esforços produzidos pelas cargas dos veículos ferroviários, servindo de suporte dos trilhos e para manter a distância entre eles (bitola). Pode ser de madeira, aço, concreto ou plástico.

2.1.3 Fixação

Mantêm o contato entre o trilho e o dormente, permitindo a passagem adequada dos esforços de um para o outro. Possui também a finalidade de retensorar o conjunto devido ações do trilho.

2.1.4 Trilho

São os perfis instalados sobre os dormentes. É por eles que se deslocam os trens, que têm suas rodas metálicas encaixadas em sua superfície. Os trilhos têm a função de guiar as rodas.

2.1.5 Características da Superestrutura da EFVM

A EFVM possui as seguintes características de projeto:

- Trilho contínuo soldado ;

- Lastro de Brita;
- Dormente predominante de aço;
- Bitola de 1.000 milímetros;
- Carga por eixo : 27,5 toneladas;
- Velocidade Máxima autorizada : 65 quilômetros horários.

Carneiro (1997) comenta que sob o ponto de vista técnico, em termos de qualidade de linha, é aconselhável a adoção de trilho contínuo soldado que implica na eliminação total das juntas metálicas e substituição das talas isolantes convencionais. O objetivo da utilização de trilho contínuo soldado é eliminar totalmente as juntas que além de representarem pontos fracos na linha, impõem altos custos de manutenção.

A interação trilho contínuo soldado, altas variações de temperaturas, tráfego de trens e baixa resistência do conjunto superestrutura podem gerar anomalias na geometria da via e ocasionar desalinhamentos nos trilhos que diminuem sua disponibilidade de circulação na máxima velocidade autorizada ou em certas situações a circulação de trens deve ser paralizada.

Esta restrição de disponibilidade da superestrutura é causada pelo fenômeno chamado Flambagem, que é a variação da continuidade geométrica dos trilhos.

2.2 GEOMETRIA DE VIA

A superestrutura desenvolve funções básicas de suporte, pista de rolamento e guia para as rodas dos veículos. A função de guia é realizada pelo contato metálico entre o trilho e o friso da roda, exigindo que os trilhos apresentem uma condição geométrica adequada para manter o conjunto estável.

Assim, o conjunto de regras que restringem e que vem a dirigir a marcha do trem são englobados pela geometria da superestrutura e suas tolerâncias.

2.2.1 Elementos que definem a geometria de via

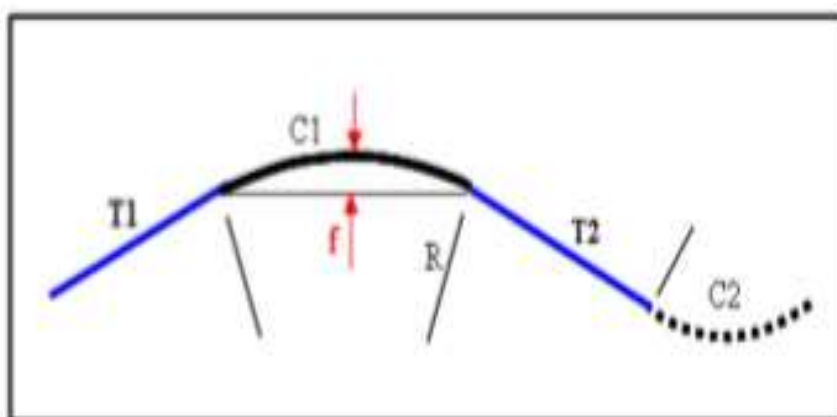
São as características geométricas que buscam a melhor adaptação às variadas formas da superfície do terreno. São as formas básicas de curvas e tangentes em planimetria.

As curvas de uma linha férrea têm por finalidade alterar a direção de marcha dos trens em movimento, isto é, fazer com que o material rodante gire em torno de seu eixo vertical; este giro deve ocorrer de forma a evitar impactos no material rodante.

A verificação da flecha permite avaliar a condição da curva em relação ao raio de projeto ou em relação aos limites de variação de flechas admissíveis.

Os valores da flecha são interessantes para determinação do raio da curva e velocidades que nela possam circular, podendo variar dentro de limites estabelecidos.

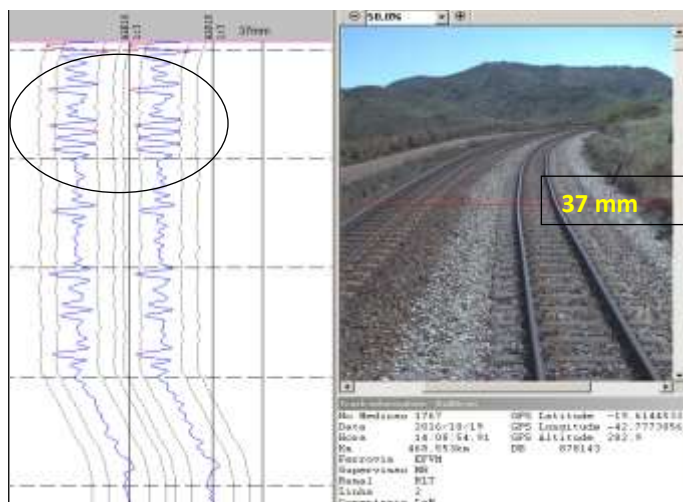
Figura 4 – Flecha em curva ferroviária



Fonte: Manual Técnico VP (2013).

O alinhamento é representado individualmente para cada fileira de trilhos. É considerado um defeito o alinhamento que supere a tolerância fixada.

Figura 5 – Representação Gráfica de defeito de alinhamento.



Fonte: Vídeo do Carro Controle EFVM (2016).

A Figura 5 demonstra o exemplo de variação fora dos limites no alinhamento da ferrovia registrados através do Carro Controle em outubro de 2016.

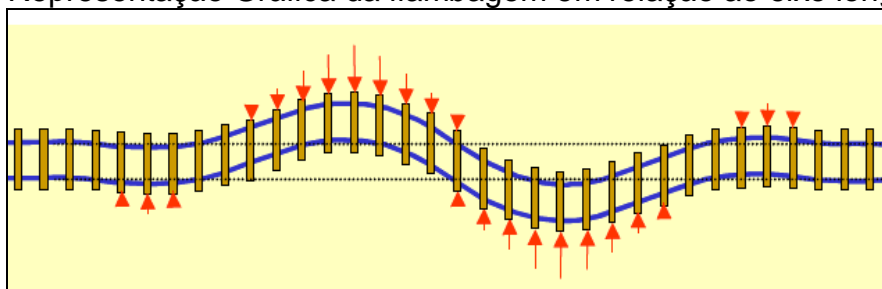
Brina (1988) destaca que a via férrea só deveria suportar os esforços resultantes dos pesos dos veículos e a força exercida por eles nas curvas. Porém, a ação dos esforços normais é modificada pelos anormais, que desempenham um papel importante na resistência da via e derivam das características inerentes à mesma e em relação com as particularidades construtivas dos veículos.

São verificados que as condições da via e a condição do material rodante interferem na sua resistência e contribuem no aumento de esforços aplicados no conjunto dormente, fixação e lastro.

2.3 FLAMBAGEM

A flambagem consiste em um desvio da posição da via em relação ao eixo longitudinal com variações excessivas de flechas. Quanto maior a for o deslocamento lateral da grade em relação a sua posição de projeto ou em relação a suas adjacências maior é a gravidade e possibilidade de causar acidentes.

Figura 6 – Representação Gráfica da flambagem em relação ao eixo longitudinal



Fonte: o autor (2017).

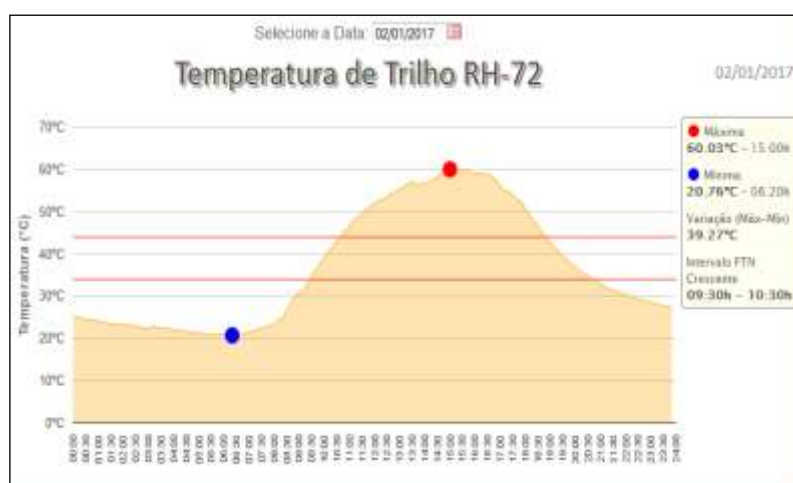
2.3.1 Agentes Causadores da Flambagem

A superestrutura é projetada para resistir todos os esforços atuantes levando em consideração a velocidade característica da ferrovia, raio de curva, peso por eixo, tonelada bruta transportada, rampas que influenciam na aceleração e na frenagem, variações de temperatura da região, entre outros fatores.

Diante destas características são projetados o perfil de trilho, o tipo de fixação, o espaçamento de dormentes, a metodologia de trabalho de desguarnecimento do lastro, substituição de trilho e dormentes.

No caso particular da EFVM, devido sua posição geográfica, é uma ferrovia com grande variação de temperatura e, em seu projeto, foram utilizados trilhos soldados continuamente sem utilização de juntas de dilatação.

Gráfico 2 – Temperatura nos trilhos

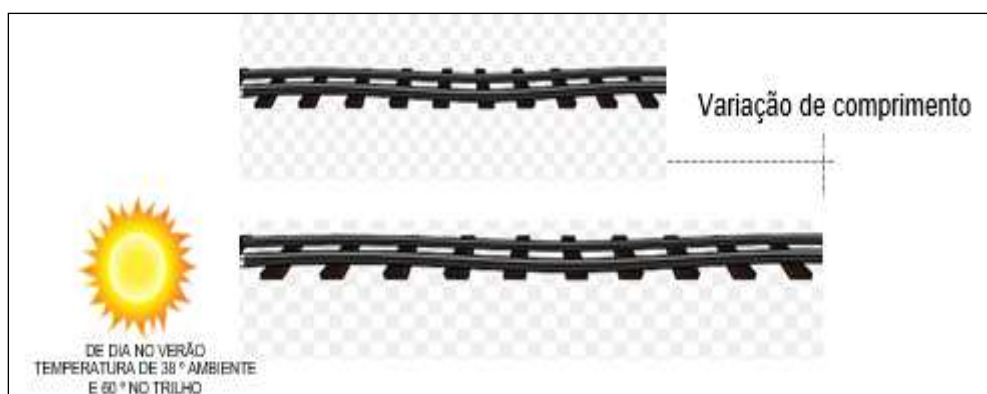


Fonte: Intranet VALE <http://portalvp/sensor/RH72> (02/01/2017).

Como exemplo no Gráfico 2, o registro de temperatura no trilho em 02 de janeiro de 2017 registrou variação 39,27 °C com máxima de 60,03 °C.

Estas duas características solicitam que o conjunto lastro, dormente, fixação e trilho atuem de forma a garantir a robustez de ancoragem e resistência para que a força resultante seja maior que a força atuante devido a variação de temperatura em uma ferrovia sem dispositivos de dilatação.

Figura 7 – Ilustração da variação de comprimento do trilho devido a temperatura



Fonte: O autor (2017).

A incidência de calor nos trilhos causa a dilatação do material e sendo o trilho uma peça com maior dimensão na longitudinal, seu comprimento tende a aumentar.

Brina (1988) reitera que não só para condição de segurança da via, mas também por razões de economia, deve-se exigir uma via de maior resistência.

São muitos fatores que influenciam a diminuição de resistência da superestrutura, entre eles:

- Baixo Volume de lastro de brita;
- Fixação com pressão abaixo da recomendada;
- Dormentes fraturados;
- Defeito superficial em trilhos;
- Defeitos superficiais em rodas;
- Método de manutenção nas trocas de trilhos e dormentes fora da especificação técnica - faixa de temperatura neutra não respeitada;
- Manutenções repetidas em um único local;
- Socaria mecanizada em temperaturas fora da especificada;

- Baixa disponibilidade de serviços de ajuste de tensão – Alívio de tensão térmica;
- Locação da linha fora de projeto.

As anomalias que podem causar as flambagens são verificadas em inspeções sistemáticas das condições da superestrutura.

Fotografia 2 – Deslocamento de Trilhos



Fonte: O autor (2016)

Deslocamento de trilhos causado pela baixa eficiência da fixação.

Outras anomalias também contribuem para a falha como por exemplo são os defeitos superficiais em trilhos que podem causar vibrações consideráveis no conjunto superestrutura fazendo com que a consolidação e ancoragem fique comprometida diminuindo o poder de retenção dos trilhos. Este defeito deve ser verificado nas inspeções da ferrovia. A corrugação caracterizada como ondas na superfície dos trilhos é uma característica que acontece em curvas e pode ser um fator contribuinte nas flambagens.

Fotografia 3 – Defeitos superficiais em Trilhos



Fonte: O autor (2016)

Defeitos Superficiais nos trilhos conforme Fotografia 3 causam vibrações que retiram a estabilidade do conjunto da superestrutura.

Deficiência de lastro é um dos principais fatores de baixa ancoragem da ferrovia.

Fotografia 4 – Lastro de brita insuficiente



Fonte: O autor (2016)

Na Fotografia 4, nota-se a falta de brita na superestrutura ferroviária.

2.3.2 Alternativas de Ações Mitigadoras

É importante destacar que a EFVM possui conceitos de projeto uniforme, trilho com perfil de 68 quilos por unidade métrica de comprimento, lastro de brita e dormente quase a totalidade de aço. Porém, de forma mais específica, ela apresenta heterogeneidade em cada curva, pois as condições de inclinações não são iguais, as condições de manutenção são diferentes, as condições de volume de brita, grampo e dormentes também podem variar.

Ações mitigadoras são realizadas para controlar o fenômeno da flambagem que são o constante treinamento às equipes operacionais de manutenção; capacitação dos inspetores de superestrutura para relatar e levantar todos os indícios de pontos vulneráveis suscetíveis a esta ocorrência para priorizar a manutenção, métodos de monitoramento das variações de flechas realizadas bimestralmente através de equipamento de inspeção, reforço de lastro e fixação em locais específicos, etc. Destaca-se que estas ações mitigadoras não fazem parte do objetivo deste trabalho.

As análises serão realizadas através de dados referentes a ocorrência de falhas e maiores temperaturas registradas no dia.

2.4 FONTE DE DADOS

Como alternativa das ações mitigadoras, serão utilizadas nesse trabalho duas variáveis com caráter preventivista para identificar a flambagem e não como fator para solucionar este fenômeno que em meses de pleno verão registraram 72 ocorrências. Neste aspecto o mais importante para a manutenção é garantir a segurança operacional de uma forma economicamente viável e assertiva, pois sua extensão de 1.500 quilômetros torna inviável manter equipes inspecionando diariamente sem um gatilho ou referência de máxima temperatura que podem ocorrer as flambagens.

Para determinar o momento exato para inspecionar a ferrovia, serão utilizadas duas fontes históricas de informações: temperatura nos trilhos e ocorrência de flambagens nas abrangências de cada termômetro instalado.

As inspeções são realizadas com equipamento mecanizado que percorre os trechos da EFVM.

Fotografia 5 – Identificação de falha através da inspeção



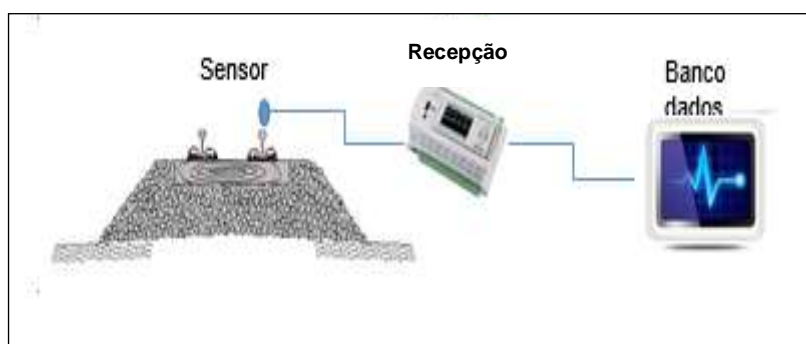
Fonte: O autor (2017).

Na Fotografia 5 , nota-se o auto de inspeção ao encontrar a falha na ferrovia.

2.4.1 Dados de Temperaturas

Estão instalados na EFVM sensores que registram temperaturas nos trilhos a cada 10 minutos.

Figura 8 – Ilustração do Sistema de Registro de Temperaturas nos Trilhos na EFVM



Fonte: O autor (2017)

Os registros são coletados através de haste metálica instalada nos trilhos ao longo da EFVM onde o aparelho de recepção transforma os sinais e os envia para a central de banco de dados.

Os dados são apresentados de forma gráfica para consulta via portal intranet.

2.4.2 Abrangência dos Termômetros

Neste trabalho serão utilizadas as informações de três termômetros instalados em trechos distintos ao longo da EFVM.

Figura 9 – Locais de instalação dos Termômetros



Fonte: Intranet VALE <http://portalvp/sensor/> (16/10/2017).

O portal disponível na rede interna da Companhia VALE proporciona a visão geral da instalação dos sensores conforme Figura 9.

As instalações e abrangências serão consideradas da seguinte forma:

- Termômetro de Vitória - RH 07 - Instalado no quilômetro 21,680 - abrange as temperaturas entre quilômetros 0,000 e 134,000.
- Termômetro de Governador Valadares – RH 50 - instalado no quilômetro 326,800 – abrange temperaturas entre quilômetros 274,400 e 363,320.
- Termômetro de Ipatinga – RH 60 - instalado no quilômetro 398,150 - abrange temperaturas entre quilômetros 363,320 e 500,000.

Para este estudo serão utilizados o histórico completo entre o período de outubro de 2016 e março 2017.

2.4.3 Dados das Falhas

A EFVM dispõe do Centro de Controle Operacional que monitora todas as condições da ferrovia quanto a circulação de trens e as condições da malha.

Fotografia 6 – Centro de Controle Operacional da Estrada de Ferro Vitória Minas



Fonte: O Autor (2017).

Na Fotografia 6, observa-se os controladores de tráfego e o painel indicador de rotas e trens na malha da EFVM.

Qualquer fato ou ocorrência de falha são registrados pelos operadores do Centro de Controle em sistemas informatizados de manutenção.

Figura 10 – Painel inicial do Sistema Informatizado de Registro de Falhas

Identificação	Localização	Status	Descrição
0001	Estação Vitória	Ativa	Sistema de sinalização em funcionamento normal.
0002	Estação Vitória	Ativa	Sistema de sinalização em funcionamento normal.
0003	Estação Vitória	Ativa	Sistema de sinalização em funcionamento normal.
0004	Estação Vitória	Ativa	Sistema de sinalização em funcionamento normal.
0005	Estação Vitória	Ativa	Sistema de sinalização em funcionamento normal.
0006	Estação Vitória	Ativa	Sistema de sinalização em funcionamento normal.
0007	Estação Vitória	Ativa	Sistema de sinalização em funcionamento normal.
0008	Estação Vitória	Ativa	Sistema de sinalização em funcionamento normal.
0009	Estação Vitória	Ativa	Sistema de sinalização em funcionamento normal.
0010	Estação Vitória	Ativa	Sistema de sinalização em funcionamento normal.

Fonte: Intranet VALE (2017)

Na tela do sistema as informações são armazenadas por motivo, posição quilométrica, data, horário e localidade, conforme Figura 10.

Com essas duas informações baseadas no histórico de incidências entre agosto de 2016 e março de 2017 será realizado o estudo utilizando software *Weibull++* para determinar a temperatura que ocorrem as flambagens nas abrangências dos respectivos termômetros.

2.5 CONSIDERAÇÕES E SÍNTESE DESTE CAPÍTULO

Neste capítulo foram abordados os conceitos básicos sobre superestrutura ferroviária para enquadrar o contexto sobre os motivos que levam as ocorrências de flambagens que são variações anormais de flechas em locais onde não apresentam resistências compatíveis com os esforços gerados nos componentes da superestrutura.

Com acréscimo de ocorrências deste modo de falha na EFVM, é imprescindível determinar um gatilho para iniciar a inspeção ao longo da malha ferroviária para gerenciar o risco operacional na circulação dos trens.

Para determinação do momento exato de iniciar a inspeção serão utilizadas informações baseadas no histórico de máximas temperaturas e registro de ocorrências de flambagens disponibilizadas em sistemas operacionais da Companhia no período dos seis meses com a maior intensidade de temperatura e número de falhas.

No capítulo seguinte, a temática que será abordada tratará de demonstrar a teoria da Engenharia de Confiabilidade que pode ser aplicada no problema apresentado no objetivo geral do trabalho.

3 METODOLOGIA APLICADA

Este capítulo tem objetivo de demonstrar a teoria da Engenharia de Confiabilidade que pode ser aplicada no problema apresentado no objetivo geral do trabalho.

3.1 VIDA ÚTIL DO COMPONENTE

A grande mudança necessária para equipes de manutenção, não é apenas conhecer a melhor maneira de executar. São necessários outros conhecimentos para manter o produto dentro da segurança e custos operacionais competitivos, dentro a realidade do mercado atual.

A missão da manutenção no contexto organizacional deve estar alinhada com as estratégias de produção. Os métodos e as metas da manutenção serão diferentes, conforme a estratégia de produção priorize: custo, qualidade, flexibilidade, serviços ou entrega. (FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, José Luis Duarte. Confiabilidade e Manutenção industrial. 1. ed. São Paulo: Campus-Elsevier, 2009. v. 1. P. 241).

Conhecer a vida útil do componente ou sistema, seu comportamento diante do uso, direcionam o melhor momento de intervir para melhorar sua performance e conseqüentemente conseguir prolongar sua utilização. Este salto para a indústria é necessário para elevar os índices de manutenção a um patamar diferenciado, pois se a estratégia de manutenção não abranger o comportamento operacional, a necessidade de manutenção não irá diminuir, novos modos de falhas irão aparecer e os que já existem tendem a diminuir seu ciclo de vida.

A Engenharia de Confiabilidade mostra-se indispensável para prever e mensurar a vida do componente ou sistema. Com as ferramentas disponíveis é capaz de conhecer o risco de uma falha. “Define-se Confiabilidade como sendo a probabilidade de um item desempenhar satisfatoriamente a função requerida, sob condições de operação estabelecidas, por um período de tempo pré-determinado”. (NBR 5462, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994).

A falha é o término de um item de cumprir com a sua função. Ou seja, quando um item falha ele fica inoperante, porém deve ficar claro que “falha” é um evento e não um estado.

As falhas apresentam características distintas. Podem ser precoces, por desgaste ou aparecerem durante a vida útil do componente ou sistema.

3.2 ANÁLISE DE DADOS DE VIDA

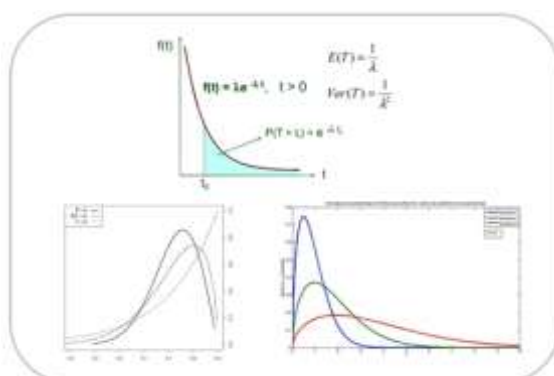
As ocorrências de falhas observadas fornecem uma característica particular do componente, associado ao tempo (horas, dias, meses, anos) ao ciclo ou a temperatura.

Somente é possível conhecer a confiabilidade dadas ocorrências de falhas que ao serem submetidas nas metodologias da Engenharia da Confiabilidade torna-se possível estimar sua taxa, tempo de vida, ciclos de manutenção, momento de intervenção e probabilidades de falhas ou de vida.

As metodologias aplicadas nos dados disponíveis enquadram as falhas em distribuições de probabilidade que fornecem índices que traduzem o comportamento de uso, condição do componente ou sistema baseados em distribuições estatísticas.

Existem diferentes distribuições, tais como a Normal, Exponencial, Weibull, Lognormal, Gama Generalizada, e cada uma delas com uma função pré-definida. Estas distribuições foram formuladas por estatísticos, matemáticos e engenheiros para modelar matematicamente ou representar um certo comportamento populacional. As distribuições que melhor representam os dados são comumente chamadas de distribuições de vida.

Figura 11 – Distribuições Estatísticas



Fonte: O autor (2017).

A distribuição Weibull é uma distribuição proposta para análise de confiabilidade. Ela é uma distribuição muito flexível. E por esta razão é amplamente utilizada em estudos de confiabilidade, análise de sobrevivência e em outras áreas devido a sua versatilidade.

A distribuição Gama é uma outra distribuição com aspecto mais geral, pois diversas distribuições são caso particular dela como por exemplo a exponencial, a qui-quadrado, entre outras. Essa distribuição tem como suas principais aplicações à análise de tempo de vida de produtos baseados nas condições de uso.

3.3 DADOS DISPONÍVEIS

Os dados para o cálculo da confiabilidade dos componentes podem ser completos ou censurados.

3.3.1 Dados Completos

São quando os tempos de falhas ou número de ciclos dos componentes são conhecidos.

3.3.2 Dados Incompletos ou Censurados

Quando não é possível registrar o exato momento da falha. São chamados de dados censurados à direita, quando existir uma ou mais unidades para as quais só se conhece o limite inferior até a falha.

3.4 CONFIABILIDADE DA VIA PERMANENTE DIANTE DAS OCORRÊNCIAS DE FLAMBAGENS

Elevados níveis de tonelage trafegada atualmente na EFVM, impulsionam elevar o número de intervenções nos trilhos para manter os parâmetros técnicos exigidos e garantir a segurança operacional.

As manutenções apresentam duas faces bem distintas, por um lado melhoram as condições da via permanente e por outro quanto mais intervenções maior é o grau de desestabilização do conjunto lastro, dormente e trilho. A consequência é a diminuição do poder de ancoragem em relação as temperaturas incidentes sobre a linha. Brina (1998) comenta que após a execução de qualquer trabalho que diminua a estabilidade da via (levantar ou deslocamentos ou desguarnecimentos), só se pode considerá-la novamente estabilizada após a passagem de determinada tonelagem sobre a mesma. Uma via robusta e bem estabelecida resiste bem aos esforços originados pela dilatação dos trilhos e não necessita de dispositivos especiais de dilatação, tornando-se, entretanto, precauções especiais em sua conservação.

Como a temperatura é um fator constante e sempre existirá, o sintoma resultante das deficiências de manutenção ou materiais é a flambagem, pois a temperatura é o principal agente de gatilho para ocorrer a falha. Ao aumentar a temperatura do trilho, a dilatação se inicia nas extremidades dos trilhos e progride gradativamente para o centro (Brina,1988).

O fator crucial deste equilíbrio é a manutenção ser realizada dentro das faixas de temperaturas recomendadas para eliminar o desequilíbrio de esforços atuantes. Porém nem sempre este fator é cumprido face à diversas variáveis inerentes ao processo de manutenção, condições dos materiais e características do local.

3.5 RESUMO DO CAPÍTULO

O capítulo apresentou conceitos de Engenharia de Confiabilidade ligados a Análise de dados de vida que são realizados através da performance de um componente ou sistema.

A origem dos dados também foi demonstrada e como podem ser classificados para a base do cálculo dentro da distribuição estatística.

Através da Engenharia de confiabilidade e os dados obtidos através dos termômetros instalados nos trilhos e as falhas ocorridas ao longo do último ciclo de altas temperaturas na EFVM, pode-se determinar gatilhos para direcionar as equipes de inspeção para identificar as falhas ao longo da malha ferroviária.

No Capítulo 4, a abordagem será realizada com referencial de informações registradas e o cálculo das probabilidades das ocorrências de flambagens em função das temperaturas nas respectivas abrangências dos três termômetros.

4 RESULTADOS: CÁLCULOS, ANÁLISES E INTERPRETAÇÃO

Para atingir o objetivo deste trabalho serão utilizadas duas fontes históricas de informações: ocorrências de flambagens e máximas temperaturas nos trilhos.

4.1 REGISTROS

Foram utilizados os registros de falhas e temperaturas máximas entre os quilômetros 0,000 e 134,000; 274,400 e 500,000 no período entre 01/10/2016 e 30/03/2017 abrangendo registro de três termômetros.

4.1.1 Falhas

Definido o período das falhas, é possível retirar dados no sistema.

Tabela 1 – Falhas para Estudo

Data	Localização (km,metro)	Data	Localização (km,metro)
07/10/2016	282,100	25/12/2016	283,300
09/10/2016	468,500	26/12/2016	296,550
15/10/2016	468,420	28/12/2016	470,900
16/10/2016	281,912	29/12/2016	388,700
16/10/2016	369,270	30/12/2016	132,200
16/10/2016	475,280	30/12/2016	325,800
17/10/2016	485,690	01/01/2017	32,500
19/10/2016	369,189	02/01/2017	454,600
21/10/2016	88,950	07/01/2017	118,330
21/10/2016	363,500	07/01/2017	492,500
04/11/2016	472,300	10/01/2017	314,600
09/11/2016	472,300	11/01/2017	284,380
13/11/2016	473,650	19/01/2017	278,210
19/11/2016	485,690	19/01/2017	296,870
21/11/2016	472,300	26/01/2017	463,378
21/11/2016	475,280	28/01/2017	477,100
23/11/2016	475,280	02/02/2017	369,100
28/11/2016	472,300	17/02/2017	423,547
01/12/2016	472,300	11/03/2017	468,300
06/12/2016	289,000	13/03/2017	129,950
06/12/2016	314,600	13/03/2017	128,650
08/12/2016	478,200	17/03/2017	470,322
24/12/2016	454,596	18/03/2017	451,220

Fonte:Supervisão de Confiabilidade de Superestrutura de Via Permanente EFVM (2017).

Consta na Tabela 1 as ocorrências de falhas por motivo flambagem, na ordem crescente de data com o respectivo posicionamento quilométrico na EFVM.

Estes registros serão a base para os cálculos do objetivo do trabalho.

4.1.2 Temperaturas

As informações das temperaturas são geradas automaticamente através de termômetros instalados nos trilhos onde geram informações a cada 10 minutos e armazenam em banco de dados. Esta atualização pode ser consultada na rede de intranet da empresa no endereço <http://portalvp/sensor/>.

Históricos de temperaturas são retirados através de janelas ativas no painel.

Selecionando o termômetro e a data desejada, os dados são baixados e apresentados em planilha Excel.

Figura 12 – Painel do Sistema de Histórico de Temperatura



Fonte: Intranet VALE [http://portalvp/sensor/MinimoMáximo\(2017\)](http://portalvp/sensor/MinimoMáximo(2017)).

A Figura 12 ilustra a configuração do portal para extrair o histórico. O usuário utiliza os campos na aba Temperatura de Trilho e Precipitação/ Mínimo Máximo/Base de dados/Data início/Data fim.

Ao executar esta ação, os dados são extraídos em planilha eletrônica.

Figura 13 – Amostra da Saída dos Dados do Sistema de Registro de Temperatura

	A	B	C
1	data	hora	temperatura
69	01/12/2016	11:26	40,5
70	01/12/2016	11:36	41,0
71	01/12/2016	11:46	41,5
72	01/12/2016	11:56	41,6
73	01/12/2016	12:06	41,3
74	01/12/2016	12:16	40,4
75	01/12/2016	12:26	42,2
76	01/12/2016	12:36	45,1
77	01/12/2016	12:46	45,3
78	01/12/2016	12:56	46,0

Fonte: Intranet VALE <http://portalvp/sensor/RH07/MinimoMáximo> (2016).

A Figura 13 é uma amostra da saída do sistema. Os dados são apresentados com intervalo de 10 minutos constando data, hora e a temperatura máxima.

4.1.3 Abrangência dos Termômetros

A EFVM possui características diferenciadas ao longo do seu traçado. O km 0+000 está no litoral do Espírito Santo com clima diferente dos locais de carregamento de minério em Minas Gerais. Ao longo do seu traçado também possui microclimas que interferem nas variações de temperaturas ao longo do ano.

Como descrito no capítulo 03, para este estudo foram definidas as seguintes abrangências de temperaturas:

- Termômetro de Vitória – abrangência entre quilômetro 0,000 e 134,000.
- Termômetro de Governador Valadares - abrangência entre quilometro 274,400 e 363,320.
- Termômetro de Ipatinga – abrangência entre quilômetro 363,320 e 500,000.

Estas extensões mantêm-se com mesmas variações de temperaturas dentro dos trechos indicados. O estudo será realizado com base nesta premissa de abrangência.

4.2 PREPARAÇÃO DE DADOS

Informações de falhas e temperaturas são armazenadas nos sistemas da Companhia que facilita a manutenção do histórico para estudos de diversas naturezas.

As tabelas mostram os dados organizados pela data da falha, posição quilométrica, o respectivo termômetro de abrangência e a máxima temperatura observada na data da falha.

Tabela 2 – Registro de Falhas e Temperaturas no Trecho de Vitória

Data	Localização (km,metro)	Temperatura máxima do dia (°C)
21/10/2016	88,950	54
30/12/2016	132,200	59
01/01/2017	32,500	60
07/01/2017	118,330	59
13/03/2017	129,950	57
13/03/2017	128,650	57

Fonte: Supervisão de Confiabilidade de Superestrutura de VP EFVM (2017).

A tabela 2 relaciona os registros de flambagens, no período de outubro de 2016 a março de 2017 entre os km 0,000 ao km 134,00 correspondentes ao trecho de Vitória.

Para o cálculo, serão utilizados estes 6 registros com suas respectivas temperaturas.

A máxima temperatura indica a característica de suporte que o trecho consegue oferecer para as forças atuantes causadas pela dilatação dos trilhos. O baixo número de flambagens associadas a altas temperaturas no momento da falha caracteriza uma confiabilidade melhor para as épocas de calor intenso.

No trecho de Governador Valadares, os dados extraídos apresentaram a seguinte configuração:

Tabela 3 – Registros de Falhas e Temperaturas no Trecho de Governador Valadares

Data	Localização (km,metro)	Temperatura máxima do dia (°C)
07/10/2016	282,100	
16/10/2016	281,912	
06/12/2016	289,000	54
06/12/2016	314,600	54
25/12/2016	283,300	52
26/12/2016	296,550	51
30/12/2016	325,800	53
04/01/2017	270,740	54
10/01/2017	314,600	55
11/01/2017	284,380	55
19/01/2017	278,210	50
19/01/2017	296,870	50

Fonte: Supervisão de Confiabilidade de Superestrutura de VP EFVM (2017).

A tabela 3 relaciona os registros de flambagens, no período de outubro de 2016 a março de 2017 entre os km 274,400 ao 363,370.

Verifica-se que não houve registro de temperatura em duas falhas devido a falha na transmissão de dados. Para estes registros os dados serão suspensos.

Em particular neste trecho, nota-se que as falhas ocorreram em maior número e menor temperatura em relação ao trecho de Vitória.

Ocorrência de falhas em menor temperatura é indicador de baixa resistência do conjunto superestrutura para suportar as forças atuantes devido a incidência de calor.

As falhas indicam que medidas preventivas devem ser tomadas para mitigar danos à circulação dos trens.

Vale ressaltar que estas ocorrências comprovam que estudos com estes objetivos devem ser avaliados por subtrechos face a extensão de abrangência da EFVM.

Dados consolidados do trecho de Ipatinga apresentam um maior número de ocorrências.

Tabela 4 – Registros de Falhas e Temperaturas no Trecho de Ipatinga

Data	Localização (km,metro)	Temperatura máxima do dia (°C)
09/10/2016	468,500	54
15/10/2016	468,420	52
16/10/2016	369,270	50
16/10/2016	475,280	50
17/10/2016	485,690	50
19/10/2016	369,189	56
21/10/2016	363,500	58
04/11/2016	472,300	51
09/11/2016	472,300	47
13/11/2016	473,650	45
19/11/2016	485,690	45
21/11/2016	472,300	43
21/11/2016	475,280	43
23/11/2016	475,280	33
28/11/2016	472,300	54
01/12/2016	472,300	41
08/12/2016	478,200	59
24/12/2016	454,596	58
28/12/2016	470,900	62
29/12/2016	388,700	57
02/01/2017	454,600	62
07/01/2017	492,500	60
26/01/2017	463,378	61
28/01/2017	477,100	58
02/02/2017	369,100	54
17/02/2017	423,547	60
11/03/2017	468,300	57
17/03/2017	470,322	58
18/03/2017	451,220	59

Fonte: Supervisão de Confiabilidade de Superestrutura de VP EFVM (2017).

Verifica-se que na região de abrangência do termômetro de Ipatinga ocorreram número de falhas maiores em relação às outras duas localidades dentro do mesmo período avaliado. Os cálculos poderão apontar uma característica particular na região.

4.3 DADOS COMPLEMENTARES

Para o estudo, serão utilizados os dados completos com o registro da máxima temperatura a partir de 01/10/2016 até 30/03/2017, sendo que os dias que ocorreram as flambagens irão constar como falha e os outros dias serão suspensos.

Quadro 2 – Amostra de dados preparados para lançar no Software

TERMÔMETRO VITÓRIA - Abrangência km 0,000 ao 134,00			
DATA	TEMP MAX	F OU S	QUANTIDADE
29/12/2016	59	S	1
30/12/2016	59	F	1
31/12/2016	60	S	1
01/01/2017	60	F	1
02/01/2017	59	S	1
03/01/2017	59	S	1
04/01/2017	56	S	1
05/01/2017	58	S	1
06/01/2017	60	S	1
07/01/2017	59	F	1

Fonte: O Autor (2017).

O Quadro 2, retrata uma amostra da consolidação dos dados para lançar no *Software Weibull ++* para realizar cálculos e análises.

Para o sistema, os dados relevantes são a ocorrência da falha e a máxima temperatura. O dia da ocorrência neste estudo não será objeto de avaliação.

Na aplicação dos dados, a temperatura entra no software relacionada com a falha ou suspensão. Neste estudo não será utilizado tempo para associar às falhas.

4.4 RESULTADOS E ANÁLISES

Os dados foram lançados no software separados por abrangência de termômetro com as seguintes informações:

- Máxima temperatura do dia;
- Se houve flambagem : F
- Se não houve flambagem: S

- Agrupados quando compatibilidade de valores

4.4.1 Resultados

Os resultados serão separados por abrangência de Termômetros.

4.4.1.1 Trecho de abrangência do termômetro de Vitória

Lançadas 6 falhas e 177 suspensões para a abrangência do termômetro de Vitória.

Figura 14 – Dados de Falhas e Suspensões Termômetro Vitória

The screenshot shows a data table with the following columns: 'Quantidade', 'Condição F ou S', 'Tempo Operação (dic)', and 'Subset ID 1'. The data is as follows:

	Quantidade	Condição F ou S	Tempo Operação (dic)	Subset ID 1
1	1	F	54	km 000 ao 134
2	2	F	57	
3	2	F	59	
4	1	F	60	
5	2	S	25	
6	1	S	26	
7	3	S	27	
8	1	S	28	
9	2	S	29	
10	1	S	30	
11	3	S	31	
12	1	S	32	
13	1	S	33	
14	2	S	34	
15	2	S	35	
16	1	S	36	
17	4	S	37	
18	2	S	39	
19	3	S	40	
20	2	S	41	
21	3	S	42	
22	6	S	44	
23	5	S	45	
24	7	S	46	
25	7	S	47	

The right-hand panel shows analysis results for 'LIFE DATA' using a 'Gama Generalizada' distribution. The 'Resumo de Análise' section lists the following parameters:

- Parâmetros:
 - μ (dic): 4,124822
 - σ : 0,405844
 - Lambda: 3,850218
- Outras:
 - Valor de LK: -23,911834
- Falhas/Suspensões:
 - F/S: 6/177

Fonte: O Autor através do Weibull ++ (2017).

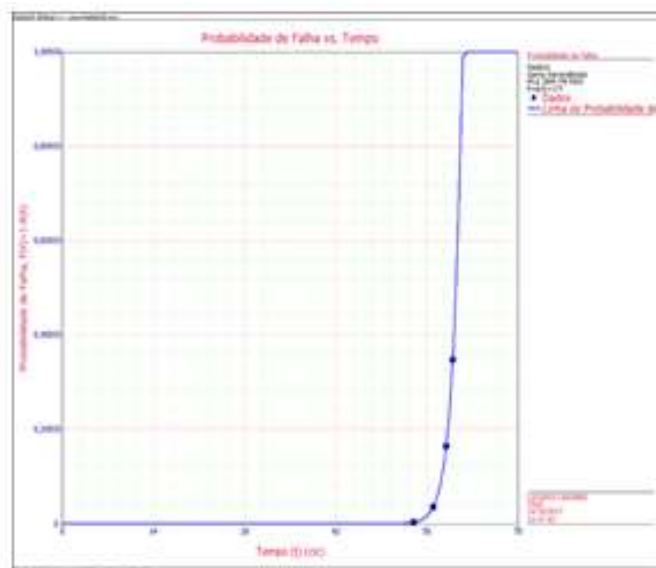
Com os dados consolidados, a distribuição implementada foi a Gama Generalizada, com análise via MLE.

Na Figura 14, verifica-se a indicação da distribuição e seus índices de forma. Nota-se também a quantidade de falhas e suspensões no período.

Após os cálculos e implementação da Distribuição característica para a família de dados, são gerados os gráficos assistentes para visualizar a probabilidade de falha em função da máxima temperatura.

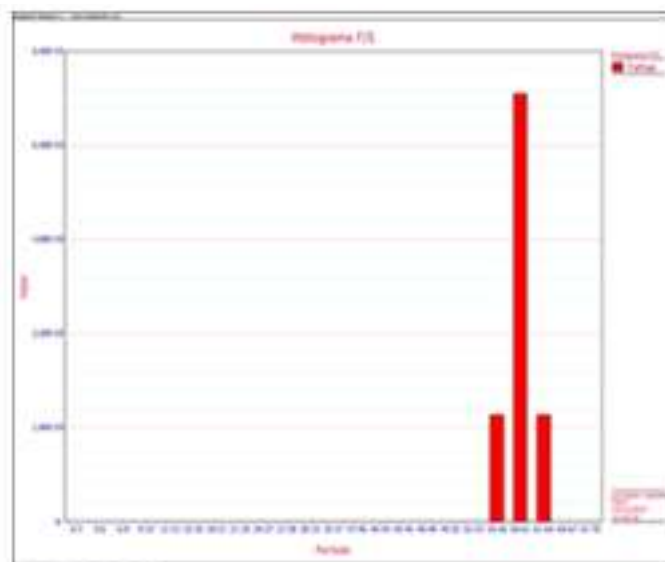
O gráfico de probabilidade de falha *versus* temperatura - que aqui neste trabalho o tempo deve ser substituído por temperatura - e histograma foram gerados a partir dos dados lançados.

Gráfico 3 – Probabilidade de Falha e Temperatura Termômetro de Vitória



Fonte: O Autor através do *Weibull ++* (2017).

Gráfico 4 – Histograma de Temperaturas Termômetro de Vitória



Fonte: O Autor através do *Weibull ++* (2017).

O resultado da Probabilidade *versus* tempo e também no histograma demonstraram forte incidência de falhas entre 59 e 61 °C., visualizados nos Gráficos 3 e 4.

Através da ferramenta de cálculo é possível verificar os principais índices de confiabilidade. A Vida Média, para a região do termômetro de Vitória foi calculada conforme dados lançados das falhas.

Figura 15 – Cálculo da Temperatura Média de Falha Termômetro Vitória



Fonte: O Autor através do *Weibull ++* (2017).

A temperatura média de ocorrência de falha apresentou valor de 60,09 °C

4.4.1.2 Trecho de Abrangência do Termômetro de Governador Valadares

Lançadas 10 falhas e 155 suspensões para a abrangência do termômetro de Governador Valadares.

Figura 16 – Dados de Falhas e Suspensões Termômetro de Governador Valadares

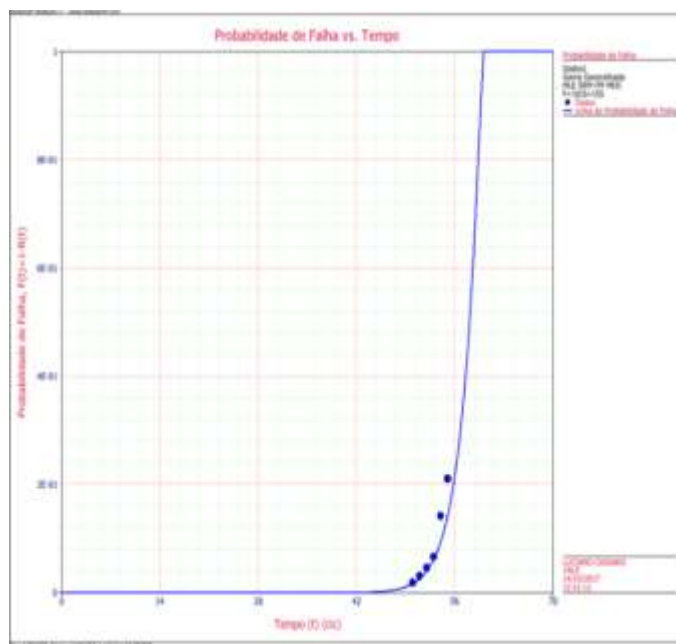
Quantidade	Condição F ou S	Tempo Operação (cic)	Subset ID 1
1	S	56	km 274,63 ao 363,37
2	S	57	
3	S	45	
4	S	48	
5	S	52	
6	S	54	
7	S	30	
8	S	26	
9	S	39	
10	S	43	
11	S	47	
12	S	53	
13	S	50	
14	S	40	
15	S	55	
16	S	42	
17	S	31	
18	S	49	
19	S	46	
20	S	37	
21	S	33	
22	S	44	

Fonte: O Autor através do *Weibull ++* (2017).

Com os dados consolidados, a distribuição implementada foi a Gama Generalizada, com análise via MLE, conforme Resumo de Análise da Figura 30.

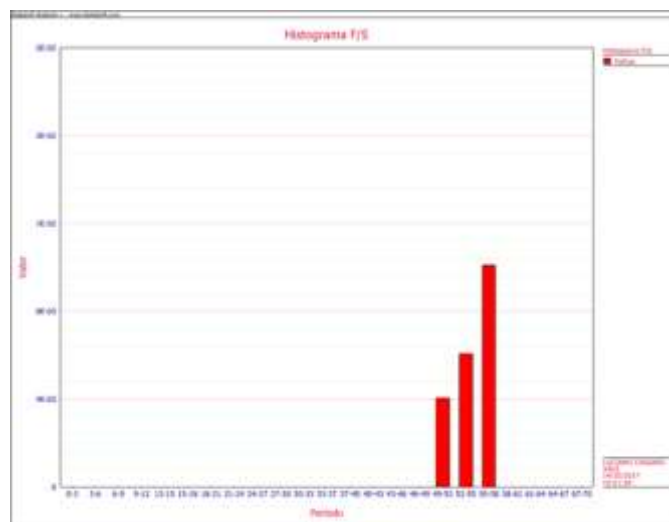
O gráfico de probabilidade de falha versus tempo e histograma foram gerados a partir dos dados lançados.

Gráfico 5 – Probabilidade Falha e Temperatura Termômetro de Governador Valadares



Fonte: O Autor através do *Weibull ++* (2017).

Gráfico 6 – Histograma de Ocorrência de Temperaturas Termômetro de Governador Valadares



Fonte: O Autor através do *Weibull ++* (2017).

O resultado da Probabilidade *versus* temperatura e histograma demonstrou forte incidência de falhas entre 55 e 58 °C, conforme Gráficos 5 e 6.

Através da ferramenta de cálculo é possível verificar os principais índices de confiabilidade. A Vida Média para a região do termômetro de Governador Valadares foi calculada conforme dados lançados das falhas.

Figura 17 – Cálculo da Temperatura Média de Falha Termômetro de Governador Valadares



Fonte: O Autor através do *Weibull ++* (2017).

A temperatura média de ocorrência de falha apresentou valor de 57,39 °C para o trecho de abrangência do termômetro de Governador Valadares

4.4.1.3 Trecho de Abrangência do Termômetro de Ipatinga

Lançadas 29 falhas e 155 suspensões para a abrangência do termômetro de Ipatinga.

Este trecho apresentou maior quantidade de falhas entre os outros dois. No mesmo período foram verificados 29 registros, demonstrando que a superestrutura ferroviária apresenta sensíveis deficiências de ancoragem. Esta indicação pode ser utilizada para definir inspeções detalhadas para avaliar a condição dos componentes ferroviários.

Incursões desta natureza são primordiais para aprofundar no detalhe técnico as condições dos materiais que estão recebendo os esforços devido a incidência de temperatura e também das cargas ferroviárias.

Lançadas as falhas e suspensões no *software*.

Figura 18 – Dados de Falhas e Suspensões Termômetro de Ipatinga

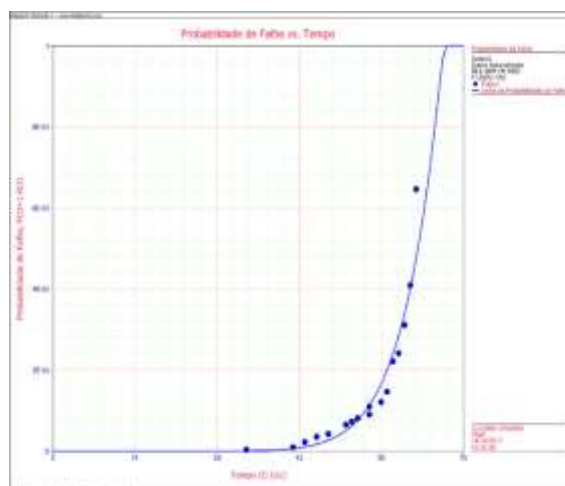


Fonte: O Autor através do *Weibull ++* (2017).

Com os dados consolidados, a distribuição implementada foi a Gama Generalizada, com análise via MLE, conforme Resumo de Análise da Figura 18.

O gráfico de probabilidade de falha e temperatura foi gerado a partir dos dados lançados.

Gráfico 7 – Probabilidade Falha e Temperatura Termômetro de Ipatinga

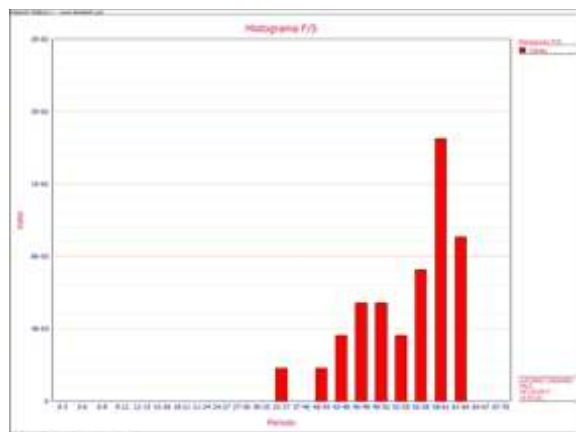


Fonte: Autor através do *Weibull ++* (2017).

Ressalta-se que no eixo da abcissa do gráfico a unidade é temperatura máxima.

A partir do software, foi gerado o histograma de temperaturas.

Gráfico 8 – Histograma de Ocorrência de Temperaturas Termômetro de Ipatinga



Fonte: O Autor através do Weibull ++ (2017).

O resultado da Probabilidade versus temperatura demonstrou forte incidência de falhas mais distribuídas que as outras regiões, com ponto de destaque entre 58 e 61 °C, conforme Gráfico 8.

Através da ferramenta de cálculo, é possível verificar a Vida Média para a região do termômetro de Ipatinga.

Figura 19 – Cálculo da Temperatura Média de Falha Termômetro Ipatinga



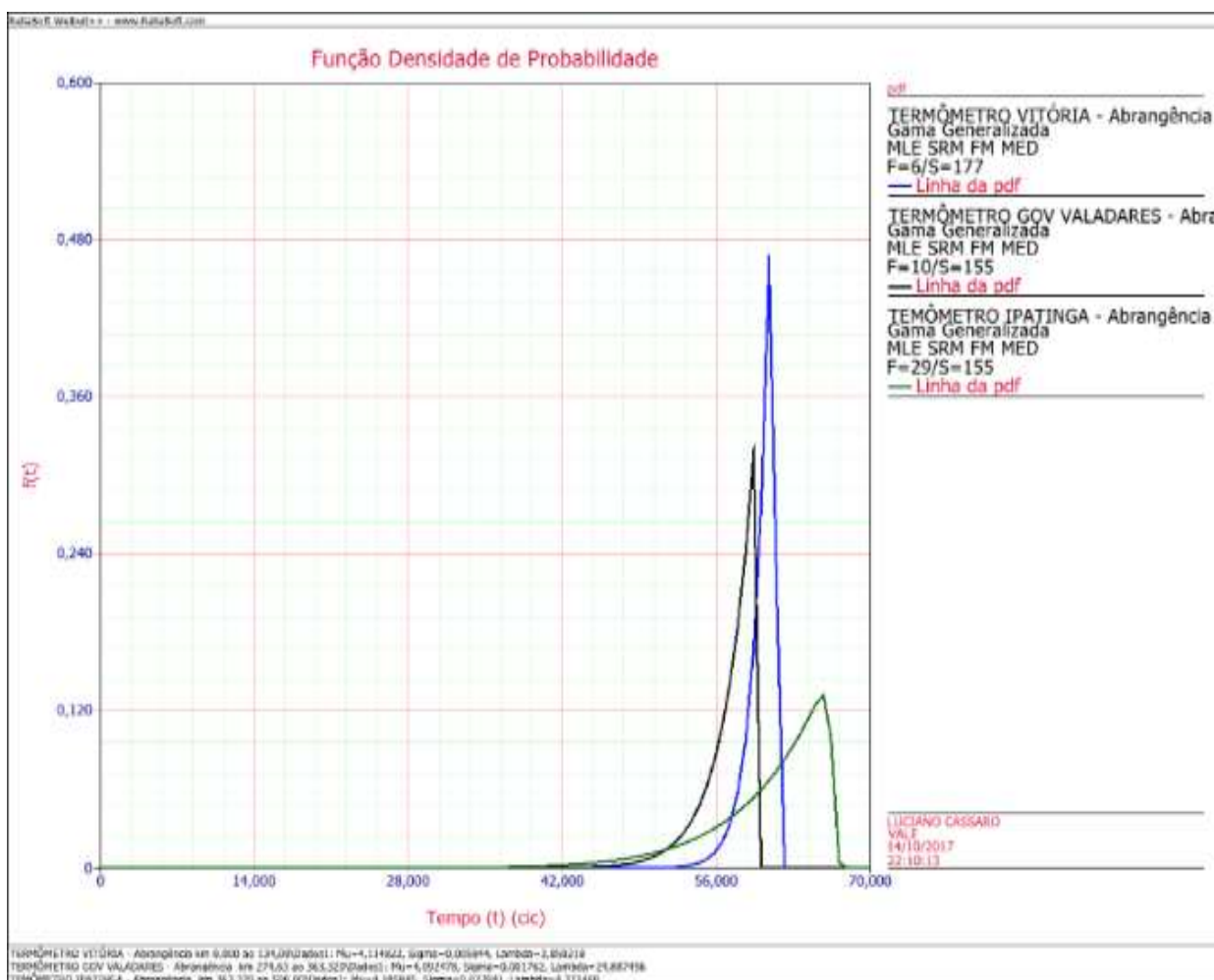
Fonte: O Autor através do Weibull ++ (2017).

A temperatura média de ocorrência de falha apresentou valor de 60,71 °C para o trecho do termômetro instalado em Ipatinga, conforme Figura 19.

4.5 COMPARAÇÕES DOS TRECHOS

Para entender melhor o do comportamento de cada trecho, é possível sobrepor os gráficos da função Densidade de Probabilidade.

Gráfico 9 – Gráfico Função Densidade de Probabilidade dos termômetros de Vitória, Governador Valadares e Ipatinga



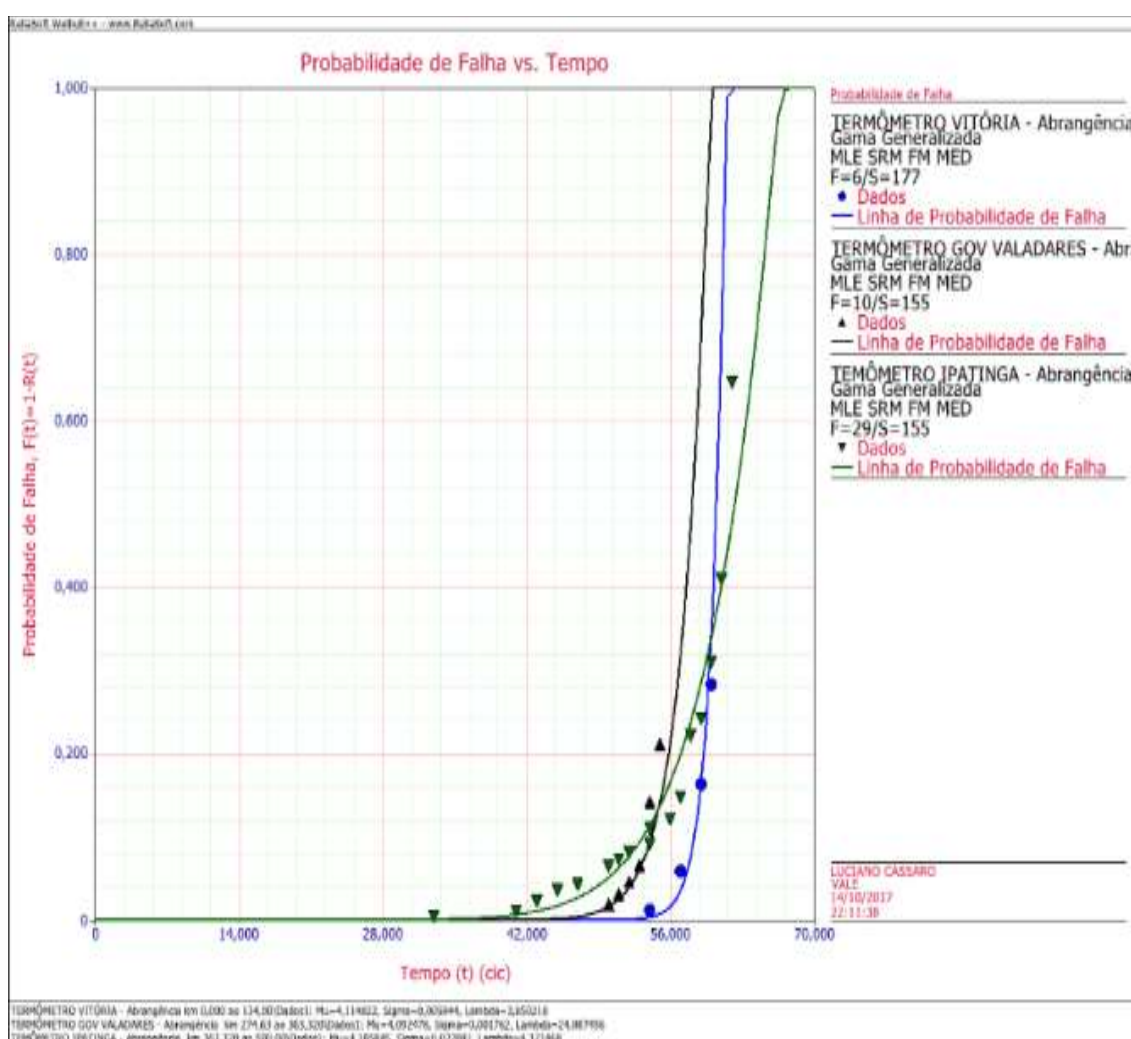
Verifica-se no Gráfico 9 as diferentes densidades temperaturas para cada trecho estudado.

As falhas na região de abrangência do Termômetro de Governador Valadares ocorrem com menor temperatura em relação aos outros dois. O Trecho de

abrangência do termômetro de Vitória possui a característica de concentrar as falhas em uma variação menor de temperatura. Já o de Ipatinga apresenta uma característica distinta dos demais, as falhas ocorrem em uma distribuição mais ampla de temperaturas.

No gráfico da probabilidade de falhas em função da máxima temperatura, aparecem também estas diferenças distintas entre trechos.

Gráfico 10 – Gráfico Probabilidade de Falha em Função da Temperatura dos termômetros de Vitória, Governador Valadares e Ipatinga



Fonte: O Autor através do Weibull ++ (2017).

No gráfico Probabilidade de Falha em Função da Temperatura, nota-se que na região de Vitória as falhas tem início com maiores temperaturas comprovando que possui melhor resistência à flambagem e menor variabilidade na condição de aconragem da superestrutura.

No trecho de abrangência do termômetro de Ipatinga, verifica-se que a ferrovia não está homogênea, apresentando grande variabilidade temperaturas de ocorrência de falhas. Isso representa condições diferentes de ancoragem da ferrovia.

A condição do trecho de Valadares não apresenta grandes variações de temperaturas para ocorrer a falha, porém ocorrem em valores menores do que em Vitória, retratando menor poder de ancoragem.

4.6 PROBABILIDADES DE FLAMBAGENS POR TRECHO

Pode-se simular as probabilidades de falhas em função da temperatura na ferramenta de Cálculo do *Weibull ++*.

Figura 20 – Cálculo da Probabilidade de Falhas



Fonte: O Autor através do *Weibull ++* (2017).

Conforme Figura 20, o resultado de 16,47 % representa a probabilidade de falha para a temperatura de 59 ° C no trecho de abrangência do termômetro.

Ao utilizar este mesmo processo para os demais locais é possível formatar as probabilidades em função da temperatura a partir de 50 ° C.

Quadro 3 – Variação de probabilidade de falhas em função da temperatura por abrangência de termômetros

Termômetro	Abrangência	Temperatura (° C)																	
		50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67
Vitória	km 0,00 ao 134,000	0,01%	0,03%	0,06%	0,14%	0,32%	0,73%	0,16%	3,56%	7,70%	16,47%	34,76%	72,44%	100,00%					
Governador Valadares	km 274,400 ao 363,320	1,62%	2,54%	3,96%	6,11%	9,36%	14,22%	21,44%	32,10%	47,72%	70,47%	100,00%							
Ipatinga	km 363,320 ao 500,000	5,14%	6,31%	7,72%	9,41%	11,42%	13,82%	16,66%	20,02%	23,98%	28,64%	34,09%	40,48%	47,92%	56,57%	66,62%	78,23%	91,19%	99,80%

Fonte: O Autor (2017)

O Quadro 3 demonstra a variação de probabilidade de ocorrer falha relacionada com a máxima temperatura registrada no dia.

4.7 DEFINIÇÃO DO ACIONAMENTO DE EQUIPES

Considerando a probabilidade de 15 % um valor de alerta para a manutenção da ferrovia, ou seja a cada 6,6 dias que ocorrer a temperatura no período entre outubro e março uma flambagem irá ser encontrada no campo.

Definido o critério, tem-se através do Quadro 3:

- Entre quilômetros 0,000 e 134,000 a partir de 59 °C.
- Entre quilômetros 274,400 ao 363,320 a partir dos 56 °C.
- Entre quilômetros 363,320 e 500,000 a partir dos 56 ° C.

4.7.1 Gatilho para Acionamento das Equipes de Inspeção

Vale ressaltar algumas observações e premissas descritas neste trabalho:

- As falhas acontecem ao longo da ferrovia com uma malha de 1.500 km de extensão;
- Não existem sensores que monitoram as flambagens, depende de inspeção visual identificá-las gerando risco para a circulação de trens que necessitam de no mínimo 1.000 metros para reduzir a velocidade e parar antes de encontrar a anomalia nos trilhos;

- Ideal que as equipes de inspeção percorram a malha e encontrem as falhas antes dos trens;
- Equipes de inspeção estão em locais aleatórios dentro da malha durante o dia de trabalho e quando acionadas necessitam de 2,0 horas em média para percorrer o trecho de abrangência;
- Inspeções geram custo considerável de combustível, homem-hora e ocupação da linha com equipes de inspeção congestionando o tráfego.

O acionamento das equipes de inspeção deve ser realizado dentro de premissas que garantam a efetividade da inspeção a partir da temperatura de alerta que geram risco considerável de ocorrências de flambagens.

4.8 CÁLCULO DO MOMENTO DO ACIONAMENTO

Ressalta a premissa de 2 horas para preparação e circulação das equipes de inspeção.

4.8.1 Cálculo da Hora Média que Ocorrem as Temperaturas de Alerta

Os cálculos serão realizados através da hora média em que ocorrem as temperaturas de alertas entre 01/12/2016 e 31/03/2017.

Quadro 4 – Hora Média da Ocorrência de Temperatura de Alerta (59 °C) no Termômetro de Vitória

DATA	HORA	TEMPERATURA °C
25/12/2016	13:35	59,34
26/12/2016	14:15	59,19
28/12/2016	15:05	59,56
31/12/2016	14:05	59,35
01/01/2017	14:05	59,13
06/01/2017	14:15	59,24
11/01/2017	14:45	59,19
05/03/2017	13:50	59,14
06/03/2017	14:00	59,12
MÉDIA	14:12	59,25

Fonte: O Autor (2017).

Baseado no histórico, em média a temperatura de 59 °C ocorre às 14:12 h no termômetro de Vitória.

Quadro 5 – Hora Média da Ocorrência de Temperatura de Alerta (56 °C) no Termômetro de Governador Valadares

DATA	HORA	TEMPERATURA °C
03/01/2017	15:44	56,13
06/03/2017	13:31	56,13
14/03/2017	13:41	56,35
18/03/2017	13:51	56,04
HORA MÉDIA	14:11	56,16

Fonte: O Autor (2017).

Baseado no histórico, em média a temperatura de 56 °C ocorre às 14:11 h no termômetro de Governador Valadares.

A base de dados de Ipatinga, mostrou maior quantidade de temperatura de alerta.

Quadro 6 – Hora Média da Ocorrência de Temperatura de Alerta (56°C) no Termômetro de Ipatinga

DATA	HORA	TEMPERATURA °C	DATA	HORA	TEMPERATURA °C
01/01/2017	13:54	56,31	16/02/2017	15:40	56,67
02/01/2017	13:54	56,30	17/02/2017	14:40	56,56
03/01/2017	13:44	56,82	18/02/2017	14:40	57,10
04/01/2017	15:54	56,70	19/02/2017	14:40	56,38
05/01/2017	14:34	56,23	20/02/2017	15:00	56,46
06/01/2017	15:14	56,45	23/02/2017	13:20	56,77
07/01/2017	14:34	56,46	24/02/2017	15:10	56,08
08/01/2017	15:04	56,32	02/03/2017	14:01	56,26
09/01/2017	15:14	56,55	03/03/2017	13:21	56,24
10/01/2017	14:14	56,07	04/03/2017	13:31	56,69
11/01/2017	13:34	56,15	05/03/2017	13:21	56,14
12/01/2017	13:54	56,63	06/03/2017	13:01	56,50
18/01/2017	14:54	56,01	07/03/2017	14:31	56,90
19/01/2017	15:14	56,59	09/03/2017	14:41	56,03
20/01/2017	14:45	56,74	10/03/2017	13:51	56,20
21/01/2017	15:15	56,20	11/03/2017	13:41	56,47
22/01/2017	15:05	56,41	12/03/2017	14:21	56,79
23/01/2017	14:25	56,10	13/03/2017	13:51	56,48
24/01/2017	14:45	56,05	14/03/2017	13:51	56,46
25/01/2017	14:05	56,61	17/03/2017	14:41	56,72
26/01/2017	13:55	56,32	18/03/2017	13:31	56,12
27/01/2017	14:35	56,17	22/03/2017	14:31	56,33
28/01/2017	15:05	56,10	23/03/2017	14:41	56,17
30/01/2017	15:55	56,04	25/03/2017	14:51	56,36
31/01/2017	14:55	56,03	26/03/2017	14:01	56,60
11/02/2017	15:35	56,10	MEDIA MÉDIA	14:27	56,39

Fonte: O Autor (2017).

Baseado no histórico, em média a temperatura de 56 °C ocorre às 14:27 h no termômetro de Ipatinga.

Ao avaliar os registros dos termômetros, a temperatura de alerta de 59 °C de Vitória ocorre em média as 14:12 h; a temperatura de alerta de 56 °C de Governador Valadares ocorre em média às 14:11 h e 56 °C em Ipatinga ocorre em média às 14:27 h.

Na prática, as equipes devem estar no campo quando os termômetros registrarem as respectivas temperaturas de alertas. O tempo de mobilização, preparação e deslocamento será considerado em 2 horas.

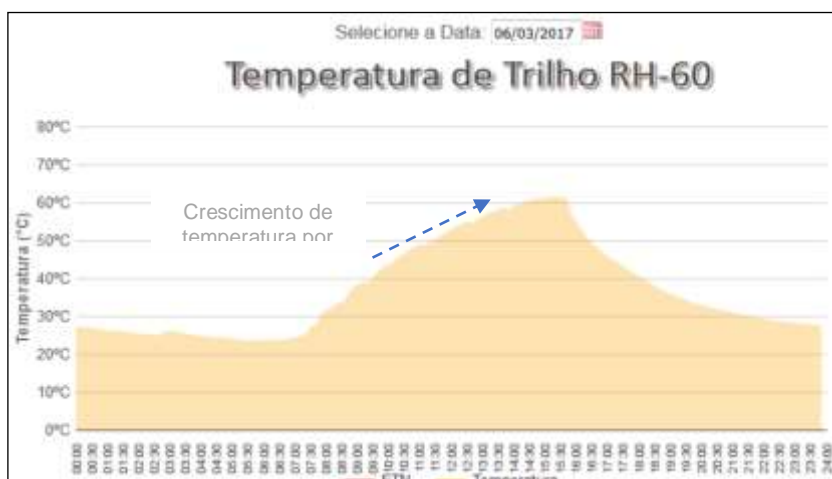
4.8.2 Definição do momento de acionamento

Assim como as temperaturas variam de trechos em trechos da ferrovia, as taxas de crescimento desta temperatura ao longo do dia também variam. Este gradiente de acréscimo de temperatura por hora difere de local a local.

Esta taxa é um fator crucial para a determinação do momento de acionamento que deve ser duas horas antes da temperatura de alerta.

Normalmente, as taxas de crescimento de temperaturas nos trilhos ocorrem no início do dia com a incidência da luz solar, porém observa-se que entre as 09:00 h e 14:00h ela atinge o maior valor crescente e fornece previsibilidade do que irá ocorrer ao longo do dia.

Gráfico 11 – Gráfico ilustrativo da taxa de acréscimo de temperatura



Fonte: Adaptado Intranet VALE <http://portalvp/sensor/RH60>. (2017)

No Gráfico 11 nota-se que a temperatura se mantém constante no período noturno e assim que o dia inicia a taxa de acréscimo de temperatura aparece com maior incidência entre 09:00 h e 14:00 h.

Para encontrar a hora limite e temperatura de referência para acionamento das equipes com objetivo de circular na malha ferroviária no momento em que a temperatura de alerta ocorrer nos trilhos, serão calculadas as taxas médias de acréscimo de temperaturas.

O histórico utilizado será entre dezembro de 2016 e março de 2017 com as temperaturas entre 09:00h e 09:30h e entre 14:00 e 14:30 h.

Conforme premissas adotadas, as temperaturas encontradas apresentam variações para cada trecho.

Quadro 7 – Taxa de Acréscimo de temperatura por hora

A abrangência dos termômetros	Taxa de aumento de temperatura por hora		
	Temperatura média entre 09:00 e 09:30 (°C)	Temperatura média entre 14:00 e 14:30 (°C)	Taxa de acréscimo de temperatura entre 09:00 e 14:00 h (°C/hora)
km 0,00 ao 134,000	33,38	49,55	3,24
km 274,830 ao 383,320	34,56	46,84	2,58
km 383,320 ao 500,00	33,16	50,55	3,60

Fonte: O Autor (2017).

No histórico de informações das temperaturas, em média tem-se a ocorrência de 33 a 34 °C na parte da manhã nos três trechos, porém entre às 14:00 e 14:30 h nota-se que os trechos diferem, sendo o de Ipatinga e de Vitória semelhantes na casa dos 49 e 50°C. Governador Valadares apresentou a menor temperatura entre as duas outras regiões, 46,84 °C.

Com os valores médios encontrados nestes dois períodos, a taxa de acréscimo de temperatura foi calculada através da diferença de temperaturas dividido por 5 horas de intervalo. O resultado demonstra a taxa de acréscimo da temperatura por hora entre às 09:00 h e 14:00 h.

4.8.3 Gatilho de Acionamento

O gatilho de acionamento tem objetivo maximizar a utilização dos recursos de inspeção e ser assertivo para mobilizar as equipes no momento ideal em que a falha tem probabilidade de ocorrer.

Com dados delimitados, é possível realizar os cálculos para definir o momento de acionamento.

Termômetro de Vitória – abrangência entre quilômetros 0+000 e 134+000:

- Temperatura de alerta: 59 °C
- Momento que ocorre: 14:11 h
- Momento de acionamento: 14:11 h – 2 horas = 12:11 h
- Taxa de acréscimo de temperatura: 3,24 °C/h
- Temperatura no momento de acionamento: $59\text{ °C} - (2\text{ horas} \times 3,24\text{ °C/h}) = 53\text{ °C}$

Critério Final para Centro de Controle acionar a inspeção: a equipe de Vitória deve ser acionada se até às 12:11 h a temperatura atingir 53 ° C.

Termômetro de Governador Valadares – abrangência entre quilômetros 274+400 ao 363+320

- Temperatura de alerta: 56 °C
- Momento que ocorre: 14:12 h,
- Taxa de acréscimo de temperatura: 2,58 °C/h
- Momento de acionamento: 14:12 h – 2 horas = 12:12 h
- Temperatura no momento de acionamento: $56\text{ °C} - (2\text{ horas} \times 2,58\text{ °C/h}) = 51\text{ °C}$

Critério Final para Centro de Controle acionar a inspeção: A equipe de Governador Valadares deve ser acionada se até às 12:12 h a temperatura atingir 51 ° C.

Termômetro de Ipatinga - Abrangência entre quilômetros 363+320 e 500+000

- Temperatura de alerta: 56 °C
- Momento que ocorre: 14:27 h
- Taxa de acréscimo de temperatura: 3,60 °C/h
- Momento de acionamento: 14:27 h – 2 horas = 12:27 h

- Temperatura no momento de acionamento: $56\text{ }^{\circ}\text{C} - (2\text{ horas} \times 3,60\text{ }^{\circ}\text{C/h}) = 49\text{ }^{\circ}\text{C}$

Critério Final para Centro de Controle acionar a inspeção: A equipe de Ipatinga deve ser acionada se até às 12:27 h a temperatura atingir $49\text{ }^{\circ}\text{C}$.

No quadro resumo, constam os valores finais para implementar no controle da inspeção.

Quadro 8 – Quadro Resumo do Gatilho de Acionamento das Equipes de Inspeção

Abrangência dos termômetros		Temperatura de alerta ($^{\circ}\text{C}$) Acima de 15 % de probabilidade de flambagem	Hora de incidência da temperatura de alerta	Taxa de aumento de temperatura por hora			Tempo de mobilização, preparação e deslocamento de equipes de inspeção	Gatilho de acionamento	
				Temperatura média entre 09:00 e 09:30 ($^{\circ}\text{C}$)	Temperatura média entre 14:00 e 14:30 ($^{\circ}\text{C}$)	Taxa de acréscimo de temperatura entre 09:00 e 14:00 h ($^{\circ}\text{C/hora}$)		Horário de acionamento (duas horas antes da temperatura de alerta)	Temperatura máxima para acionar (Temperatura de alerta menos duas horas de taxa de temperatura) $^{\circ}\text{C}$
Termômetro Vitória	km 0,00 ao 134,000	59	14:11	33,38	49,55	3,24	2 horas	12:11	53
Termômetro de Governador Valadares	km 274,630 ao 363,320	56	14:12	34,56	46,84	2,58	2 horas	12:12	51
Termômetro de Ipatinga	km 363,320 ao 500,00	56	14:27	33,16	50,55	3,60	2 horas	12:27	49

Fonte: O autor (2017).

Conforme Quadro 8, o gatilho de acionamento deverá respeitar duas premissas combinadas: duas horas antes da temperatura de alerta e temperatura máxima de acionamento.

Para os controladores do Centro de Operações, resume-se nas duas premissas combinadas.

Quadro 9 – Resumo de Dados para Acionamento de Inspeção

Abrangência dos termômetros		Gatilho de acionamento	
		Horário de acionamento (duas horas antes da temperatura de alerta)	Temperatura máxima para acionar (Temperatura de alerta menos duas horas de taxa de temperatura) $^{\circ}\text{C}$
Termômetro Vitória	km 0,00 ao 134,000	12:11	53
Termômetro de Governador Valadares	km 274,630 ao 363,320	12:12	51
Termômetro de Ipatinga	km 363,320 ao 500,00	12:27	49

Fonte: O Autor (2017).

Os fatores combinados no Quadro 9, fornecem garantia de acionar as equipes de inspeção conforme delimitado no objetivo específico deste trabalho.

4.9 RESUMO DO CAPÍTULO

O capítulo apresentou a origem dos dados, como são gerados e coletados. Foi também demonstrado como foram organizados para os cálculos das probabilidades.

Ficou comprovado que a EFVM possui diferentes condições climáticas, as quais influenciam na temperatura nos trilhos e que contribuem na quantidade de falhas.

Entre trechos, no mesmo período ocorrem diferentes números de falhas, como por exemplo em Vitória foram 6 falhas e em Ipatinga 29 foram registradas.

Verificado que a temperatura média de ocorrência de falhas também varia em cada trecho, comprovando que o cálculo da probabilidade é importante para direcionar as equipes de inspeções.

Por meio dos conceitos de Análise de Dados de Vida aplicados nos dados disponíveis, foi possível delinear a sequência da metodologia para chegar ao momento ideal de acionamento das equipes, chegando ao objetivo principal do trabalho.

5 CONCLUSÕES

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho contemplou a análise de um modo de falha que consome grande parte de recursos da manutenção ferroviária. Causada por diversas variáveis a flambagem dos trilhos é uma anomalia gerada quando algum parâmetro ou procedimento físico não é respeitado. Existem diversas maneiras de diagnosticar a flambagem, porém neste estudo foi possível entender o comportamento das ocorrências por trecho.

Saindo do modo trivial de analisar fisicamente o estado da linha optou-se em verificar o momento ótimo das equipes saírem de suas sedes para percorrer toda a extensão da malha ferroviária, deixando de ser um evento aleatório baseado em experiências práticas dos engenheiros e mestres de linha.

Na Quadro 9, constam os valores encontrados para que o Centro de Controle da Manutenção faça os contatos com as respectivas equipes de inspeção, que demonstram a realidade do objetivo deste estudo.

Na EFVM, atualmente é praticado um alerta para inspeção a partir de 50 ° C em todos os trechos, porém com algumas diferenças de horas para acionar. Apresenta ser seguro, porém muitas vezes existem diversas equipes percorrendo a malha ferroviária sem registros de flambagem. O que demonstra que esta temperatura em alguns trechos está muito conservadora, gerando desperdício de mão de obra e despesas de ativos como equipamentos de inspeção de ocupação na malha ferroviária.

Na coleta de dados, vale ressaltar que o sistema de temperatura é eficiente, porém tem a vulnerabilidade de falha na fibra ótica que conduz os dados para o servidor. Ocorrem situações de perda de energia ou próprio rompimento dos cabos ocasionando a interrupção da leitura de dados.

Outro ponto de atenção, agora para os termômetros. Como suas hastes de contato são aparentes, podem também sofrer falhas devido a quebras devido os trabalhos com equipamentos de grande porte.

5.2 SUGESTÕES PARA OUTROS TRABALHOS

A análise utilizou informações geradas a partir de três termômetros verificando parcialmente a ferrovia. Atualmente estão instaladas 13 unidades, abrangendo a totalidade dos 1.500 km de extensão. Isso provoca a iniciativa de aplicar a mesma metodologia para outros sub trechos, diminuindo as diferenças que possam ocorrer.

Outra sugestão que fica registrada é a importância de se realizar este mesmo estudo utilizando no lugar da máxima temperatura, sua variação diária. Provavelmente este estudo utilizando a variação será mais indicado em alguns trechos que a diferença de temperatura entre a noite e o dia é mais relevante do que a máxima do dia. Podem ocorrer temperaturas baixas durante o dia, ou seja, abaixo de 50 graus, porém a variação pode estar gerando tensões internas nos trilhos que também ocasionam a flambagem.

A grande vantagem deste estudo foi a qualidade e quantidade dos dados disponíveis e a aplicabilidade no trabalho. É de extrema importância este assunto na rotina da manutenção ferroviária.

Para Lafraia (2014), primeiro e obviamente, a frequência de inspeção pode ser ajustada. Mas os métodos e ferramentas usados para inspeção e testes podem também ser mudados. Adicionalmente, o escopo, a qualidade e a extensão da inspeção e a coleta de dados podem ser ajustadas.

Sua utilização será implementada no próximo período de altas temperaturas e conforme o comportamento dos dados forem variando, novas análises serão realizadas para redirecionar o método de inspecionar a ferrovia e entender melhor as ocorrências deste fenômeno.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 1994. Rio de Janeiro. **NBR 5462**, Confiabilidade e manutenibilidade - terminologia. Rio de Janeiro, 37p.
- ANTT, Agência Nacional de Transportes Terrestres. Disponível em : <http://www.antt.gov.br>. Acesso em: 07 mar. 2017.
- BRANCO FILHO, Gil. **A Organização, o Planejamento e o Controle da Manutenção**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2008.
- BRINA, Helvécio Lapertosa. **Estradas de Ferro Vol. 1**. 2ª ed. 1983.
- FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, José Luis Duarte. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. 1. ed. São Paulo: Campus-Elsevier, 2009.
- CARNEIRO, Eduardo de Aquino. **Trilhos Contínuos Soldados – Técnicas de assentamento, manutenção e soldagem aluminotérmica**. Cia Vale do Rio Doce. Rio de Janeiro, Abril/1997.
- GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- GOY, Leonardo. **Brasil tem exportação recorde de minério de ferro em 2016**. Disponível em: <http://exame.abril.com.br/economia/brasil-tem-exportacao-recorde-de-minerio-de-ferro-em-2016/>. Acesso em: 07 mar. 2017.
- KARDEC, Alan; NASCIF, Julio. **Manutenção Função Estratégica**, 2ª ed, 1ª Reimpressão 2004. Editora Quality Mark, Rio de Janeiro, Coleção Manutenção, Abramam.
- LAFRAIA, João Ricardo Barusso. **Manual de Confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade**, 1ª ed. 5ª Reimpressão. Editora Quality Mark, Rio de Janeiro, Petrobras, 2014.
- VALE,Portal. **Vale no Mundo**. Disponível em <http://www.vale.com/brasil/pt/aboutvale/across-world/paginas/default.aspx>. Acesso em: 02 mar. 2017.
- VALE S/A. **Manual Técnico de Via Permanente**. Departamento de Engenharia e Desenvolvimento Logístico. Belo Horizonte, 2009.
- VALE S/A. **Manual Técnico de Via Permanente**. Departamento de Engenharia e Desenvolvimento Logístico. Belo Horizonte, 2013.
- VALE S/A. **Vídeo carro controle**. Departamento de Operações EFVM. Vitória, 2016.