

# ROTINA LÓGICA AUTOMÁTICA PARA O DESLIGAMENTO DAS REDES DE COMPUTADORES DE LOCOMOTIVAS AC44

**Marcos Antônio de Ávila e Silva**  
Instituto Militar de Engenharia  
Especialização em Transporte Ferroviário de Cargas

## RESUMO

Nas locomotivas AC44, uma sequência lógica para a energização e desenergização do circuito elétrico é necessária. O descumprimento dessa rotina causa falhas na rede de dados. Em alguns casos, ao desligar e ligar o disjuntor de alimentação do sistema a falha é sanada, em outros, podem provocar a degradação das redes, o corrompimento de softwares e danificar a memória interna dos componentes; impactando diretamente na operação ferroviária.

O presente trabalho visa apresentar os componentes com suas respectivas funções na rede de dados, bem como o estudo de causas e efeitos das falhas, evidenciando a vulnerabilidade do projeto e os impactos decorrentes da sequência de desligamento e inicialização incorreta da locomotiva, propondo uma solução e apresentação dos resultados da implementação de uma inteligência artificial no projeto da locomotiva.

## ABSTRACT

In the locomotives AC44 a logical sequence for energizing and turn off the electrical circuit is required. Failure to comply with this routine cause failures on the data network. In some cases, when turn off and power on the breaker of the system, the failure is remedied, in others, could cause the degradation of networks, software corruption and damage the internal memory of the components; impacting directly on the railway operation.

The present paper aims show the components with their respective functions on the data network, and the study of causes and effects of failures, highlighting the vulnerability of the project and the impacts of the shutdown sequence and incorrect initialization of the locomotive, proposing a solution and presenting the results of implementing a artificial intelligence in the locomotive project.

## 1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Com a inovação tecnológica no meio ferroviário, a tendência é que as locomotivas mais modernas operem através de um sistema de arquitetura consolidada de controle (ACC), o qual monitora, processa e controla todas as funções da locomotiva AC44.

Nessa arquitetura, os painéis Smart Display's (SDIS), responsáveis pela interface homem máquina, se conectam aos demais painéis controladores através das redes de dados e controle da locomotiva.

Com um total de 220 locomotivas do modelo AC44, sou seja, a maior frota MRS LOGÍSTICA, esta, vem buscando uma solução para o alto índice de falhas na rede de dados. Estas avarias geram os mais variados impactos, pois o reflexo da falha é diretamente nos painéis SDIS. Seguem os sintomas mais comuns:

- Falhas de esforço trator;
- Falhas de esforço de frenagem;
- Falhas na partida;
- Falhas na tração distribuída e sistema de freios.

Normalmente as ocorrências apresentam os seguintes efeitos para o operador:

- Indicação de asteriscos ao invés de pontos de aceleração, posicionamento de chave reversora e velocidade, para o operador;
- Telas dos SDIS apagadas;
- Telas dos SDIS congeladas (não aceitam comando);
- Reinicialização das telas dos SDIS.

Tais efeitos podem ocasionar na perda parcial ou total da função do ativo, impactando diretamente na operação ferroviária.

Outro fator que justifica este estudo é a vulnerabilidade do projeto quanto à grande possibilidade de falhas humanas ao desligar e ligar a locomotiva, intensificada essa probabilidade pelo modelo operacional da MRS LOGÍSTICA S.A., que difere das demais concessionárias pelo maior incentivo que se desligue a locomotiva para melhorar a eficiência energética.

## **2. OBJETIVO**

Diminuir as falhas de comunicação na rede de dados da frota AC44, propondo uma solução de melhoria no projeto da locomotiva para mitigar as falhas ocasionadas pelo desligamento impróprio provocado do operador, através do desenvolvimento da inteligência artificial aplicada para a desenergização dos componentes das redes de computadores.

## **3. METODOLOGIA**

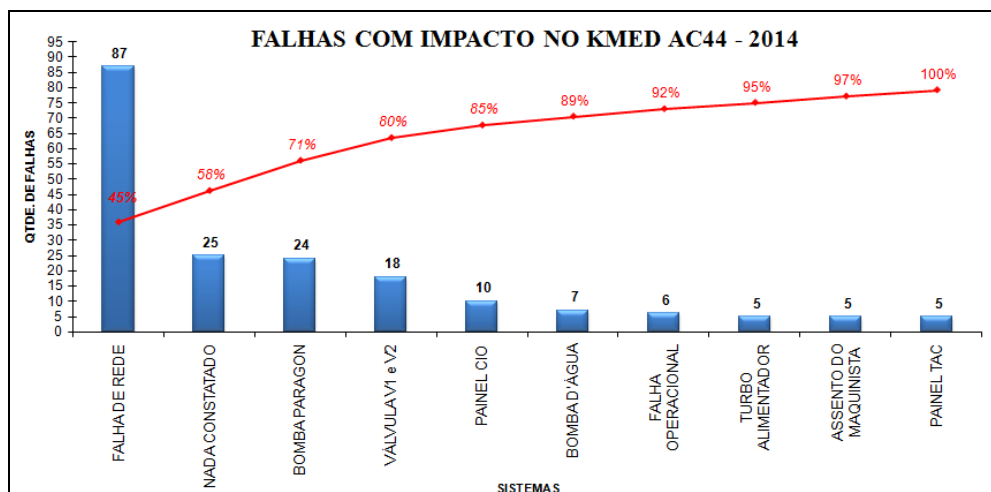
No processo metodológico, é apresentado o estudo de causas e efeitos das falhas em conjunto com análises de dados das caixas pretas das locomotivas e apresentação de resultados.

## **4. HISTÓRICO**

Apesar de uma considerável performance diante dos outros modelos de locomotivas da MRS LOGÍSTICA S.A., a frota AC44, apresenta um alto índice de falhas na rede de dados, quando comparado com outros sistemas.

A Empresa em questão tem um indicador que mede a aderência à meta de confiabilidade, o KMED de locomotivas, onde KMED é a quantidade de quilômetros ininterruptos percorridos pelos ativos (locos) entre falhas geradoras de impacto em trem hora parada (THP) superior a 0 minutos.

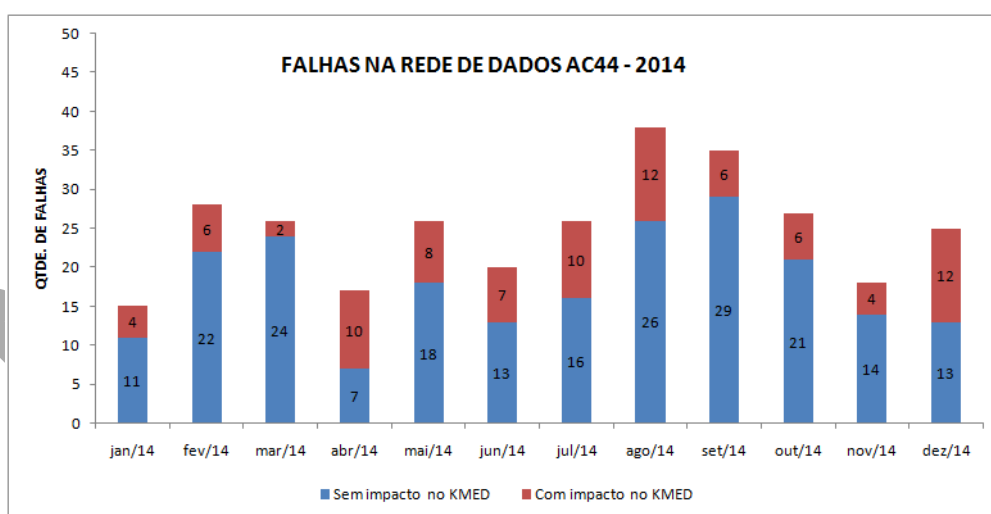
A estratificação dos modos de falhas da AC44 com impacto no KMED é apresentada no gráfico da figura 1.



**Figura1:** Estratificação dos modos de falha com impacto no KMED

Observa-se no Pareto acima, que as falhas no sistema de rede impactaram no indicador do KMED com uma alta representatividade em relação aos demais sistemas, ou seja, 45% no ano de 2014.

O gráfico da figura 2 apresenta a distribuição de falhas na rede de dados com e sem impacto no indicador, ao longo do ano de 2014.



**Figura2:** Impacto das falhas de rede no KMED

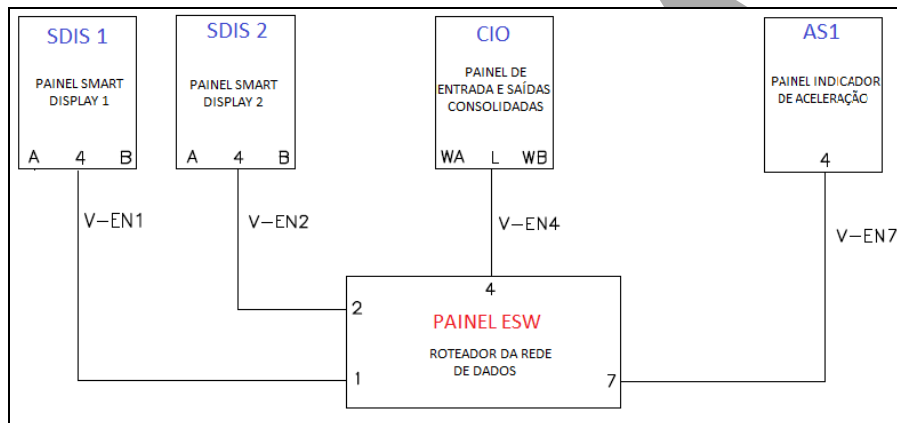
Portanto, o fato de uma ocorrência impactar ou não no indicador é circunstancial, ou seja, dependendo do operador, do tráfego ferroviário e até mesmo da localidade, uma ocorrência de rede pode impactar no KMED, pois em alguns casos o sistema de redes deve ser reiniciado para que o ativo retome suas funções principais.

Com base no grande impacto decorrente das falhas, foi realizado o estudo dos componentes da rede de dados e suas interfaces, com o objetivo de identificar e tratar a causa raiz do problema.

## 5. A REDE DE DADOS - ETHERNET

O conceito original de Ethernet foi criado por Robert Metcalfe (1973), da Xerox, que desenvolveu uma rede sem fio denominada ALOHAnet, cuja finalidade era interconectar computadores dos diversos campus das universidades do Havaí. O processo foi então aperfeiçoado e usado em redes físicas que deram origem a Ethernet.

A rede Ethernet, também conhecida na frota AC44 como rede de dados, é composta por cinco painéis eletrônicos, ou seja, os quatro computadores (SDIS1, SDIS2, CIO e ASI) fazem a interface através do roteador ESW. A topologia da rede Ethernet da AC44 é mostrada na figura 3:



**Figura3:** Topologia da rede de dados

A seguir são definidas as funções de cada componente na rede de dados

### 5.1. PAINÉIS SMART DISPLAY'S 1 E 2 - (SDIS 1 E SDIS 2)

Os Smart Displays, apresentados na figura 4, além de atuarem como monitores de interface homem máquina para os maquinistas e equipes de manutenção, são microcomputadores que recebem comandos do operador e monitoram as condições de operação da locomotiva. Após o processamento destas informações, eles geram um conjunto de comandos, que são enviados para outros computadores e dispositivos da locomotiva, para executar as ordens do operador e compartilhar várias informações disponibilizadas com outros painéis eletrônicos da rede de dados e controle da locomotiva AC44.



**Figura4:** Painéis SDIS 2 e SDIS 1

## 5.2. PAINEL DE ENTRADAS E SAÍDAS CONSOLIDADAS (CIO)

O painel de entradas e saídas consolidadas (CIO), mostrado na figura 5, é um controlador que atua à partir do recebimento de sinais elétricos em suas entradas, processa essas informações e comanda vários dispositivos da locomotiva de acordo com a operação solicitada.



Figura 5: Painel CIO - Entradas e saídas consolidadas

## 5.3. Painel ESW

Um roteador é um dispositivo que opera na camada de rede, sua principal função é selecionar o caminho mais apropriado entre as redes e repassar os pacotes recebidos. Ou seja, encaminhar os pacotes para o melhor caminho disponível para um determinado destino.

A rede Ethernet da AC44 é gerenciada pelo painel ESW (chave Interruptora de Ethernet), ilustrado na figura 6.



Figura 6: Painel ESW – Roteador da rede de dados

O painel ESW se comunica diretamente na rede de dados, através das portas 1, 2, 4 e 7, respectivamente com os painéis SDIS1, SDIS2, CIO e AS1.

O painel AS1 tem a função de indicar a aceleração da locomotiva. Os painéis da rede de controle não mencionados tem comunicação indireta com a rede de dados.

## 5.4 INICIALIZAÇÃO E ENCERRAMENTO DE SOFTWARES EM COMPUTADORES

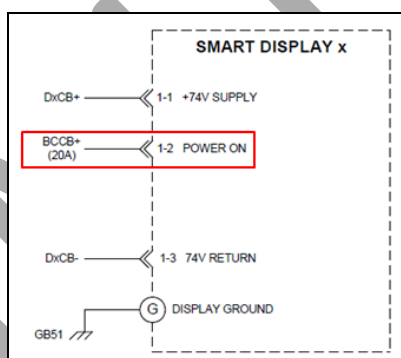
Ao ligar um microcomputador comum, é carregado o sistema operacional durante sua inicialização. Há um procedimento à ser seguido quando se deseja desligar o mesmo, para que não gerem falhas no computador, ou seja, deve-se acessar o menu iniciar e clicar em desligar. Com isso, o sistema operacional encerrará todos os aplicativos abertos antes de desligar as telas.

Caso o usuário do microcomputador descumpra os procedimentos citados acima e remova totalmente a energia do desktop, desligando-o diretamente a tomada de alimentação da fonte, pode incorrer nos seguintes efeitos: lentidão e congelamento das telas ao inicializar o sistema, sendo necessário a reinicialização do microcomputador. Em outros casos, pode corromper o software, sendo necessário reinstalar o sistema operacional e no pior dos casos pode ocorrer a queima do disco rígido (HD). Visto que os painéis Smart Display's operam um sistema operacional para a inicialização do software, a maneira com que eles são ligados e desligados é extremamente importante.

Os Smart Display's são alimentados com 74 volts, através de dois disjuntores bipolares de 6 ampères (D1CB e D2CB), sendo um disjuntor para cada painel.

O roteador do sistema de rede (ESW) é alimentado pelo disjuntor MTB.

Para que os computadores executem a rotina de inicialização dos softwares corretamente, os disjuntores D1CB/D2CB e o MTB devem estar ligados. Somente após satisfeitas essas condições, que um sinal de nível lógico alto deve ser aplicado à entrada Power ON do Smart Display, através do acionamento do disjuntor de carga de bateria e computador (BCCB), conforme mostrado na figura 7.



**Figura7:** Alimentação dos painéis SDIS

Análogo ao desligamento de um computador desktop, o projeto da locomotiva em questão, também exige que seja executada uma sequência manual para desenergização dos componentes da rede de dados, ou seja, o operador deve desligar o disjuntor BCCB e aguardar enquanto os painéis Smart Display's executem a rotina de encerramento dos aplicativos do sistema operacional. Essa operação dura de doze a trinta segundos. Com todas as tarefas encerradas, os leds indicadores e as telas dos computadores se apagam. Somente após este procedimento, que a alimentação do roteador e demais componentes do sistema elétrico deve ser removida, respectivamente através da abertura do disjuntor MTB e chave geral da locomotiva.

O descumprimento dessa rotina pelo operador causa falhas nas redes de dados e controle, que em alguns casos ao desligar e ligar o disjuntor de alimentação do sistema (BCCB) a falha é resetada, em outros podem provocar a degradação das redes, o corrompimento de softwares ou até mesmo comprometer a integridade da memória interna dos componentes. Nesses casos além do impacto da parada do trem, muitas vezes a locomotiva precisa ser retirada da composição e encaminhada para a reparação da falha em oficina, acarretando na indisponibilidade do ativo e impactando diretamente na operação ferroviária.

## 6. ANÁLISE DE DADOS DA CAIXA PRETA DA LOCOMOTIVA

O diagnóstico de falhas na rede de dados é extremamente complexo devido à intermitência da avaria. As análises dos registros de falhas das extensões .INC, .SNP e dados de rede, podem direcionar o diagnóstico. As falhas na rede de dados são registradas conforme descrito abaixo:

- 11-0170: Veículo de controle perde comunicação com agente de distribuição
- 11-5150: SDIS1 não comunica com rede de dados
- 11-5151: SDIS2 não comunica com rede de dados
- 11-5153: CIO não comunica com rede de dados
- 11-5501: CIO perdeu comunicação com SDIS1 na rede de dados
- 11-5502: CIO perdeu comunicação com SDIS2 na rede de dados
- 11-5505: SDIS1 perdeu comunicação com SDIS2 na rede de dados
- 11-5508: SDIS1 perdeu comunicação com CIO na rede de dados
- 11-5509: SDIS2 perdeu comunicação com SDIS1 na rede de dados
- 11-5512: SDIS2 perdeu comunicação com CIO na rede de dados
- 11-5513: SDIS3 perdeu comunicação com SDIS1 na rede de dados
- 11-5514: SDIS3 perdeu comunicação com SDIS2 na rede de dados

### 6.1. ANÁLISE DE FALHAS NA REDE DE DADOS

As falhas de rede são analisadas diariamente por um grupo de especialistas, que tem como objetivo direcionar o atendimento das locomotivas e classificação das ocorrências.

A figura 8, ilustra uma ocorrência com impacto no KMED locomotivas, aberta às 11hs e 50 min do dia 03/04/2015.

A locomotiva 7329, congelou as telas dos Smart Display's e falhou em serviço às 10:22 hs do dia 03/04/2015, impactando na parada do trem por aproximadamente 3 horas. Sendo direcionada para atendimento em oficina.

907329	907329	Fechado 03/04/2015 11:50:03	Falha em Serviço - Encaminhada à Oficina	446241	Ocor. Rádio Manut. Locomotiva	REDE DE DADOS EM FALHA	FALHA OPERACIONAL
SDIS 1/2 , congelaram, feito procedimentos , sem sucesso.Richard /Thiago cientes. GE-AC44MIL - GERÊNCIA MANUTENÇÃO LOCOS MG							

**Figura 8:** Ocorrência na rede de dados com impacto no KMED

Ao iniciar o atendimento da avaria, foi analisado o download do registrador de eventos extensão .INC. Destacados em vermelho na figura 9, podemos constatar os registros dos seguintes logs de falhas na rede de dados:

- 11-0170: Veículo de controle perde comunicação com agente de distribuição;
- 11-5501: CIO perdeu comunicação com SDIS1 na rede de dados;
- 11-5509: SDIS2 perdeu comunicação com SDIS1 na rede de dados.

Os registros dos log's ocorrem em horário GMT, ou seja, devem ser acrescidas 3 horas ao horário da parada do trem.

Nesta análise o registro da falha na rede de dados foi exatamente no dia 03-abril-2015 às 13:24:43h - Horário GMT, mostrado na coluna (hora da falha) da figura 9.

MRS				PLANILHA MODELO - AC44		
Data da Falha	Hora da Falha	Eventos	Reset	Grupo de Falha	Log	Descrição da Falha
03-Apr-2015	13:26:07.112	0	T	00000000	11-3202	Perda de Comunicação PT3 com Controlador Sistema
03-Apr-2015	13:24:53.789	9	T	00000000	11-0170	Veículo de controle perde comunicação com agente de distribu
03-Apr-2015	13:24:44.662	-1	T	49000000	11-5221	Operator Notified To Cycle BCCB
03-Apr-2015	13:24:43.642	9	T	00000000	11-5501	CIO Perda Comunicação com SDIS1 na Rede Dados
03-Apr-2015	13:24:43.516	9	T	00000000	11-5509	SDIS2 Perda Comunicação com SDIS1 na Rede Dados
02-Apr-2015	23:52:36.069	-1	F1A	00000000	07-0013	Proteção de Tela Ativa
02-Apr-2015	23:42:24.609	-1	T	00000000	07-0013	Proteção de Tela Ativa
02-Apr-2015	22:59:48.264	-1	F1A	00000000	07-0013	Proteção de Tela Ativa
02-Apr-2015	22:53:51.228	-1	T	00000000	07-0013	Proteção de Tela Ativa
02-Apr-2015	22:17:57.965	0	F1A	00000000	11-0003	INICIALIZAÇÃO SISTEMA CONTROLE EM PROGRESSO
02-Apr-2015	22:16:15.394	-1	T	00000000	11-5552	Reset impróprio detectado no SDIS1
02-Apr-2015	22:15:57.344	0	T	00000000	11-0003	INICIALIZAÇÃO SISTEMA CONTROLE EM PROGRESSO
02-Apr-2015	16:49:46.247	-1	T	44000000	11-5221	Operator Notified To Cycle BCCB
02-Apr-2015	16:49:46.077	9	T	00000000	11-5151	SDIS2 Não Pode Comunicar com Rede Dados
02-Apr-2015	16:49:21.245	-1	T	00000000	44-0027	AESS Inativo: Parada Manual Pressionada

Figura 9: Registro dos logs de falha na rede de dados

Ainda na figura 9, podemos observar no dia 02-abril-2015 às 16:49 hs, que a locomotiva apresentou os logs, 11-5151: SDIS2 não pode comunicar-se com a rede de dados, seguido do log 11-5221: Operador Notificado para ciclar BCCB.

Esses logs quando ocorrem no mesmo instante, caracteriza que o operador descumpriu a correta sequência de desligamento apresentada no capítulo 5.4, pois desligou a chave geral diretamente, ficando caracterizado como falha operacional a causa raiz da ocorrência.

Portanto o efeito da falha proveniente do desligamento incorreto, somente impactou na função do ativo no dia 03-abril-2015, pois o desligamento incorreto, certamente corrompeu algum dado da rede de dados que somente precisou ser acessado neste dia.

Outro fator que reforça o desligamento indevido pelo operador é o fato de não haver o registro da mensagem de "Motor Diesel Não Funcionando" no download do INC da figura 9, antes da abertura da chave geral da locomotiva, evidenciando que o operador não cumpriu a etapa 3 da orientação do manual de operação ferroviária (MOF), mostrado na figura 10.

2.3.3.2- DESLIGANDO LOCOMOTIVAS AC44-MIL
1. Chave EC em "partida", reversora no centro e acelerador em neutro.
2. Apagar motor pela botoeira de parada do Motor Diesel.
3. Aguardar parada total do motor e a mensagem "Motor Diesel não funcionando" nas telas.
4. Desligar, nesta ordem, o disjuntor BCCB e disjuntor MTB.
5. Aguardar os LEDs verdes dos Smart Displays estarem apagados (+/- 1 minuto).
6. Abrir a chave-faca (não existe necessidade de abrir outros disjuntores)

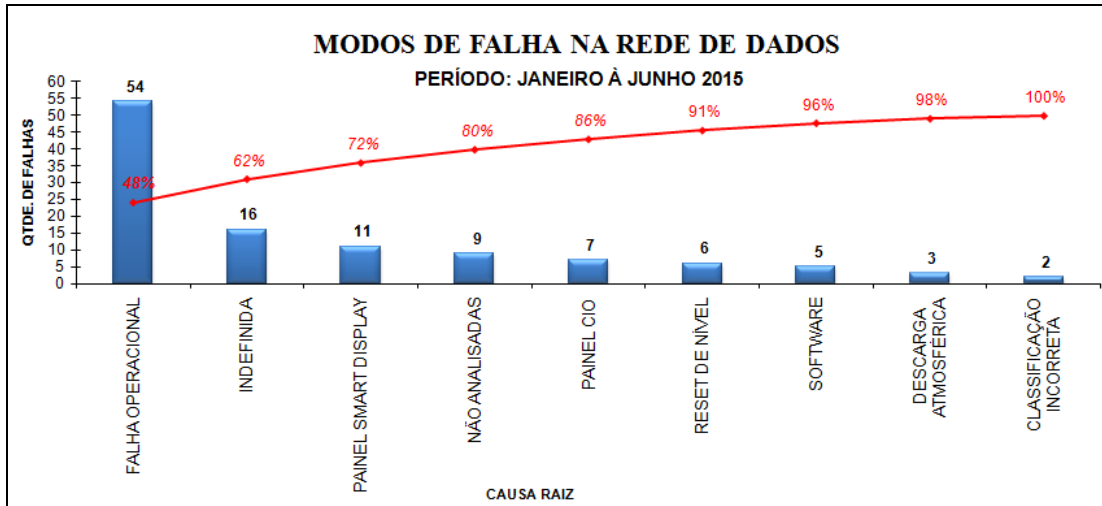
POP-GNO-0001 / Manual de Operação Ferroviária - MOF (Versão 00.00)

Figura 10: Manual de Operação Ferroviária – MOF



Como ação corretiva desta falha, foi reinstalado o software por estar corrompido e substituído preventivamente o painel Smart Display 1, pois não consegue avaliar até que ponto o desligamento impróprio do operador afetou a memória interna do microcomputador.

O pareto da figura 11 apresenta a estratificação dos modos de falhas na rede de dados do ano de 2015.

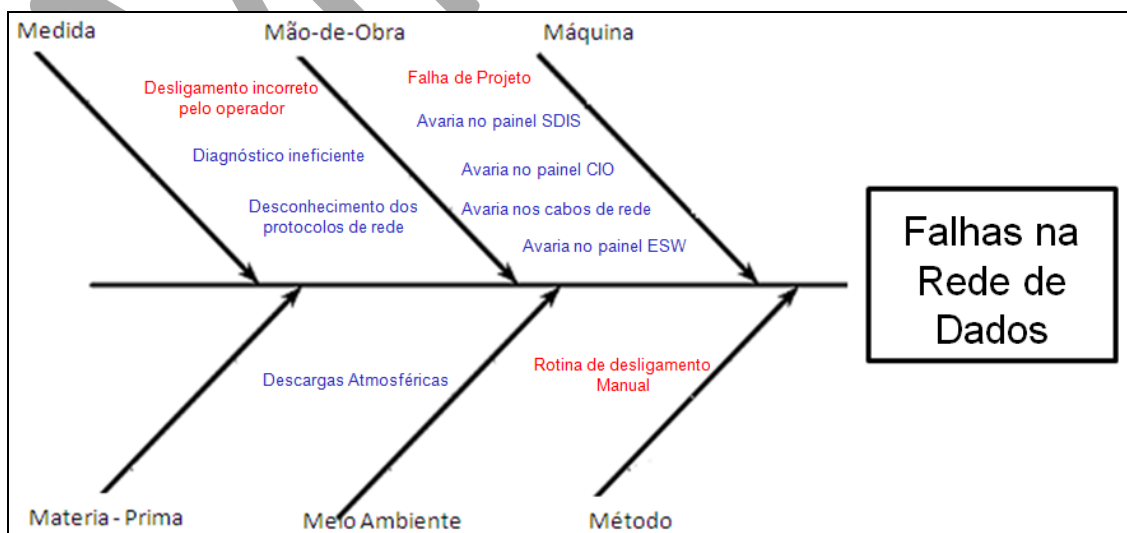


**Figura 11:** Modos de falhas na rede de dados

Com base no gráfico acima, o foco de atuação é, principalmente, no modo de falha operacional, pois representa 48% das causas de falhas na rede de dados.

## 6.2. DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO (ISHIKAWA)

Também como produto da reunião de análise sistêmica das falhas na rede de dados, temos o diagrama de causa e efeito, apresentado na figura 12.



**Figura 12:** Diagrama de causa e efeito das falhas na rede de dados

## 7. PROPOSTA DE SOLUÇÃO PARA O PROBLEMA

Diante dos dados apresentados, todas as análises e estratificações das falhas na rede de dados, apontam para a falha operacional como a principal causa das avarias, destacada no diagrama de Ishikawa da figura 12, como desligamento impróprio do operador.

Tendo em vista a fragilidade do projeto da locomotiva quanto à existência de uma sequência manual para desligar e ligar, após várias tentativas de instruir os operadores para seguirem tal procedimento, sem sucesso, viu-se a necessidade de automação do sistema.

O presente trabalho apresenta como solução para o problema, a implementação de uma inteligência artificial aplicada ao projeto da locomotiva. Nesta, um circuito de comando elétrico é projetado para interagir com os demais componentes da locomotiva, executando uma rotina lógica automática para o desligamento dos componentes das redes de dados.

### 7.1. IMPLEMENTAÇÃO DO PROJETO

O projeto piloto foi implementado na locomotiva 7226 no dia 05/09/2014, com um custo de aproximadamente R\$ 1500,00 por locomotiva.

#### 7.1.1. LOCALIZAÇÃO E FUNÇÕES DOS COMPONENTES DO PROJETO

Foram confeccionadas e instaladas capas de proteção externa nos disjuntores BCCB, MTB e ECU para evitar que eles sejam desligados pelo operador, conforme apresentado na figura 13.

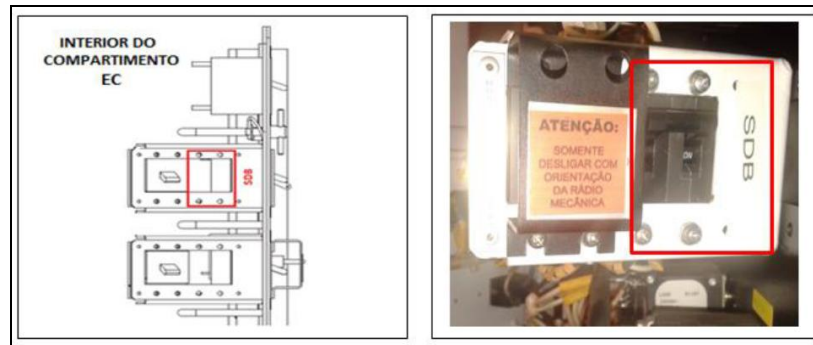
Em caso de curto circuito ou sobrecarga que venha a desarmar os disjuntores, o operador tem somente acesso a parte inferior para rearmá-los.



**Figura 13:** Capas de proteção para os disjuntores BCCB, MTB e ECU

O disjuntor de sequência de desligamento (SDB), foi instalado no interior do compartimento de controle do motor (EC), conforme apresentado na figura 14.

Sua função é proteger o circuito elétrico diante de eventuais curto circuitos ou sobrecargas.



**Figura 14:** Disjuntor SDB

A figura 15, apresenta a disposição dos dispositivos de comando elétrico no interior da área de controle (CA1), cujas funções são descritas à seguir:

O disjuntor de carga de bateria e computador (BCCB), renomeado no projeto como RBCCB e realocado para CA1, tem como função principal a proteção do circuito elétrico contra sobrecargas e curto-circuitos, eventualmente quando o operador é notificado para ciclar o BCCB, este é utilizado como chave para reset de falhas do sistema de redes, tais avarias normalmente são geradas pelas colisões entre os dados que trafegam na rede.

Dois réles eletromagnéticos, o relé auxiliar de desligamento automático (AASR) e o relé de sequência de desligamento (SSR), foram instalados como objetivo atuar no comando elétrico e executar a lógica do projeto.

O temporizador de sequência de desligamento (SS-DM) tem a função de retardar o sinal elétrico (47 segundos) para energização do relé SSR.



**Figura 15:** Disposição do RBCCB, SS-DM, AASR e SSR

### 7.1.2. PROCEDIMENTO OPERACIONAL PARA DESLIGAR E LIGAR A LOCOMOTIVA

Com a instalação do projeto, após o operador acionar a botoeira de parada do Motor Diesel, o mesmo deve aguardar a mensagem “Motor diesel não funcionando” no painel Smart Display (SDIS) e abrir a chave faca de bateria (BS). Ao fechar a chave faca de bateria da locomotiva todo o circuito é energizado simultaneamente.





1. **Perde o sinal de 74 volts no circuito do disjuntor RBCCB;**
2. **Em torno de 12 a 28 segundos todos os computadores da locomotiva se desligam;**
3. **Inicia a contagem de 47 segundos;**

**Interrompe o circuito do disjuntor MTB, desligando a fonte (RPS), responsável pela alimentação do roteador ESW.**

O circuito da figura 17, tem a função alimentar os disjuntores MTB e FPB com o negativo móvel da chave MBD, além de equalizar o potencial negativo das chaves MBD e BS, evitando que uma diferença de potencial elétrico entre os circuitos das chaves energize indevidamente os painéis SDIS e ocasionem falhas na rede de dados no momento em que a chave faca de bateria BS estiver aberta e a chave MBD estiver fechada.

### **7.1.5. FUNCIONAMENTO DO CIRCUITO DURANTE O FECHAMENTO DA CHAVE FACA DE BATERIA**

Na figura 16, ao ligar a chave faca de bateria (BS), é **energizado o circuito do disjuntor RBCCB**, ou seja, o pino 2 dos painéis SDIS 1 e 2 recebe um nível lógico alto, iniciando o procedimento de inicialização do sistema e carregamento do sistema operacional.

No mesmo instante do fechamento da BS, o relé auxiliar de desligamento automático (AASR) é ligado, fazendo com que seu contato auxiliar normalmente fechado (2A/2B) se abra, interrompendo o circuito do relé de sequência de desligamento (SSR).

Com o relé SSR desenergizado, seus contatos auxiliares normalmente fechados (1A/1B, 2A/2B), retornam para a posição de repouso, **ligando o circuito do disjuntor MTB, que energiza a fonte (RPS), responsável pela alimentação do roteador ESW** e os contatos normalmente fechados (3A/3B, 4A/4B), possibilitam que a unidade de controle eletrônica (ECU) seja ligada.

Observa-se que ao fechar a chave faca de bateria, a inteligência artificial do projeto executou a rotina lógica automática para a inicialização do sistema operacional, ou seja, os circuitos dos disjuntores RBCCB, MTB e ECU são energizados simultaneamente, o que não traz nenhum impacto negativo para a rede de dados.

## **8. ANÁLISE DE RESULTADOS**

Até o mês de junho de 2015, o projeto foi implementado em 95 locomotivas. Com uma amostra considerável de 45% da frota, foram calculadas as taxas de falhas para locomotivas com e sem projeto instalado.

A equação com o cálculo da taxa de falhas para locomotivas sem o projeto instalado é dada por:

$$\text{Taxa de Falhas sem projeto} = \frac{\text{n}^{\circ} \text{ de falhas em locos sem projeto}}{\text{total de locos sem projeto}}$$

A equação com o cálculo da taxa de falhas para locomotivas com o projeto instalado é dada por:

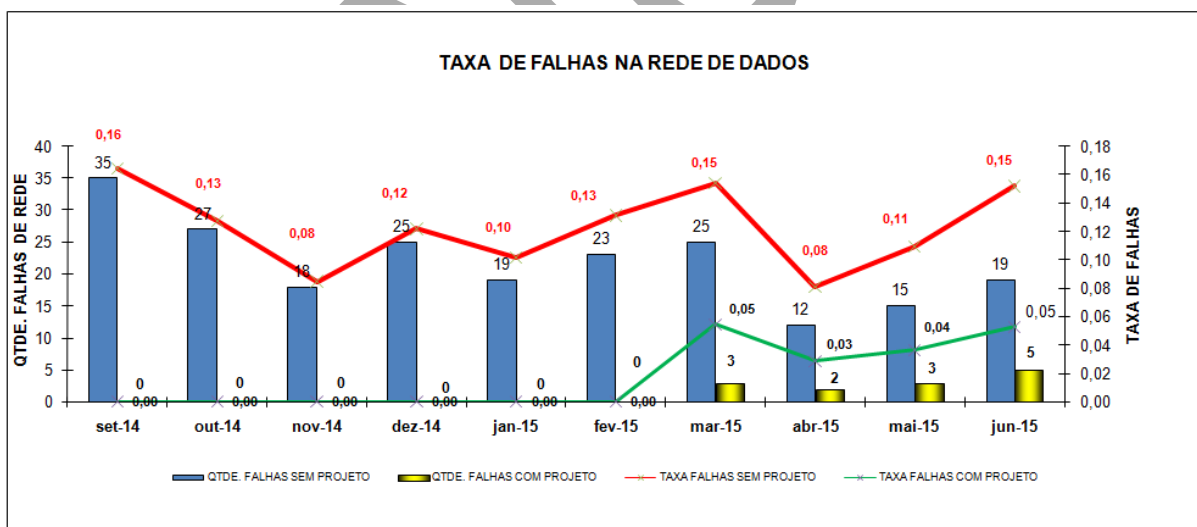
$$\text{Taxa de Falhas com projeto} = \frac{\text{n}^{\text{o}} \text{ de falhas em locos com projeto}}{\text{total de locos com projeto}}$$

A tabela 1 mostra a evolução mensal das falhas na rede de dados em locomotivas com e sem projeto. Nas duas últimas colunas da tabela, pode-se comparar as taxas de falhas.

**Tabela 1:** Evolução das falhas na rede de dados e cálculo da taxa de falhas

MÊS	QTDE. FALHAS SEM PROJETO	QTDE. FALHAS COM PROJETO	TOTAL DE LOCOS SEM PROJETO	TOTAL DE LOCOS COM PROJETO	TAXA FALHAS SEM PROJETO	TAXA FALHAS COM PROJETO
set-14	35	0	213	1	0,16	0,00
out-14	27	0	212	2	0,13	0,00
nov-14	18	0	212	2	0,08	0,00
dez-14	25	0	205	9	0,12	0,00
jan-15	19	0	187	28	0,10	0,00
fev-15	23	0	175	41	0,13	0,00
mar-15	25	3	162	55	0,15	0,05
abr-15	12	2	148	70	0,08	0,03
mai-15	15	3	137	82	0,11	0,04
jun-15	19	5	125	95	0,15	0,05

Demonstrando graficamente, através da figura 19, pode-se afirmar que a taxa de falhas em locomotivas com o projeto é aproximadamente três vezes menor que nas locomotivas originalmente sem o projeto.



**Figura 19:** Comparativo da taxa de falhas na rede de dados

## 9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos fatos e dados apresentados, a funcionalidade da arquitetura de controle consolidada da frota AC44 fica comprometida pelo alto índice de falhas na rede de dados, acarretando na perda parcial ou total da função da locomotiva, impactando diretamente na operação ferroviária.

Os estudos sobre os componentes da rede de dados e como eles interagem, conduziu para uma análise sistêmica das causas e efeitos das avarias, possibilitando a identificação dos modos de falhas presentes na maioria delas, destacando os impactos da sequência de desligamento incorreto da locomotiva, direcionando como principal causa a falha operacional e como causa contributiva a oportunidade de melhoria no projeto da locomotiva.

Tendo em vista a vulnerabilidade do projeto quanto à existência de uma sequência de desligamento manual, viu-se a necessidade de automação do sistema.

O presente trabalho traz como solução para o problema, a implementação de uma inteligência artificial aplicada ao projeto. Nessa, um circuito de comando elétrico é desenvolvido para interagir com os demais componentes da locomotiva, executando uma rotina lógica automática para o desligamento dos componentes da rede de dados, eliminando a falha do operador ao desligar e ligar o ativo. A solução apresenta ainda a oportunidade de adequar ao modelo operacional da Empresa, trazendo a favor da confiabilidade o diferencial perante as demais concessionárias devido ao maior incentivo que se desligue a locomotiva para melhorar a eficiência energética, ou seja, em locomotivas com projeto, resets na rede de dados da maneira correta são intensificados, melhorando a performance do sistema de rede.

Atingido o objetivo principal deste artigo com uma taxa de falhas na rede de dados três vezes menor que o projeto original, em uma considerável amostragem de 45% da frota com projeto instalado, sugere-se que, o teor do presente artigo, seja uma fonte alimentadora para que os pesquisadores da área, evoluam no estudo de falhas de componentes da rede de dados.

#### **Agradecimentos**

O autor agradece as sugestões recebidas de diversos colegas, que permitiram aprimorar o texto e eliminar diversas inconsistências.

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**