

### CATEGORIA 3

## DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE MONITORAMENTO E ALARMES DE ATIVOS WAYSIDE NA VLI LOGÍSTICA

### INTRODUÇÃO

A VLI é uma empresa que oferece soluções logísticas que integram portos, ferrovias e terminais, com capacidade para atender com cada vez mais eficiência a demanda dos principais players que movimentam a economia do país. A companhia engloba as ferrovias Norte Sul (FNS) e Centro-Atlântica (FCA), possuindo mais de 8.000 km de extensão ferroviária, além de terminais integradores, que unem o carregamento e o descarregamento de produtos ao transporte ferroviário, e a operação em terminais portuários situados em eixos estratégicos da costa brasileira. Com o objetivo de melhorar cada vez mais suas operações, em termos de eficiência e segurança operacional, vêm sendo instalados equipamentos de monitoramento de ativos, os chamados Waysides.

Os Sistemas Wayside podem ser resumidos como equipamentos de monitoramento de material rodante ferroviário, locomotivas e vagões. Tais sistemas são

instalados às margens da ferrovia e possuem a capacidade de avaliar parâmetros de interesse em diferentes componentes dos ativos como, por exemplo, rolamentos, rodeiros, conjunto de molas, truques etc.

Os equipamentos podem ser utilizados de forma reativa, quando o defeito em algum componente já está presente no ativo e o mesmo precisa ser direcionado com urgência para manutenção, ou de forma preditiva, quando se caracteriza o início de uma falha e a evolução desta, possibilitando um direcionamento otimizado à equipe de manutenção.

Dada a alta criticidade das informações medidas pelos Waysides é de suma importância que a equipe de manutenção eletroeletrônica garanta uma alta disponibilidade e confiabilidade desses equipamentos (acima de 90%). Por outro lado, as leituras e alarmes gerados devem ser disponibilizados em tempo real à equipe de suporte à circulação (CTD – centro de tomada de decisão), de forma que a atuação de direcionamento para manutenção ou até, em alguns casos, a parada da composição seja efetuada o mais rápido possível, garantindo que o defeito não evolua e possa causar uma ocorrência ferroviária.

Este trabalho descreve o desenvolvimento de soluções customizadas para monitoramento de disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos Wayside, bem como o monitoramento de alarmes em tempo real.

## DIAGNÓSTICO

Os sistemas Wayside podem ser usualmente instalados conforme mostrado na Figura 1. Os equipamentos são destacados em vermelho e o abrigo dos racks em azul.

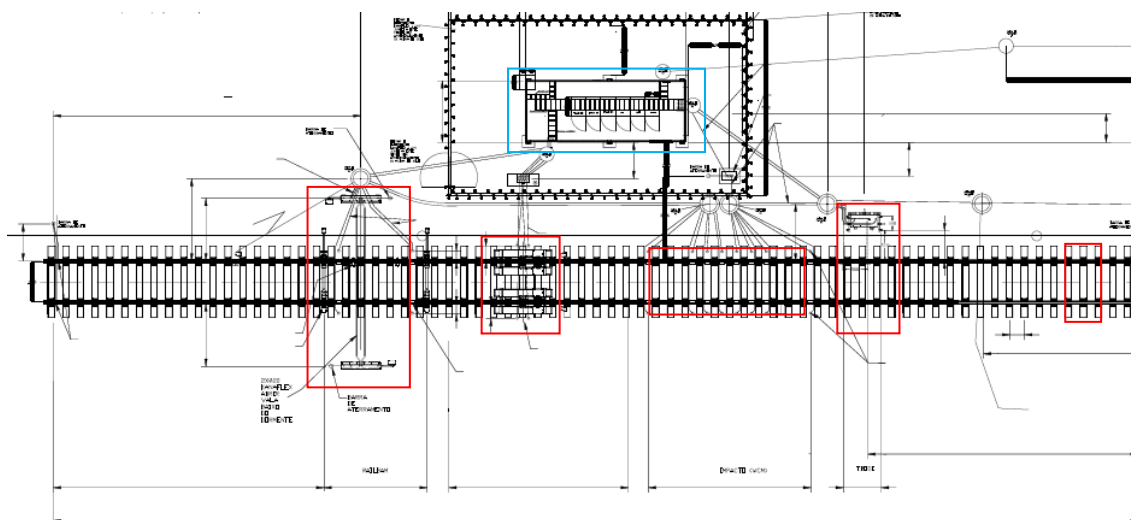


Figura 1 – Layout de instalação padrão

Um exemplo de site com instalações Wayside é mostrado na Figura 2 a seguir.



Figura 2 – Site com equipamentos Wayside

Antes da implantação do projeto deste trabalho, os dados eram enviados via internet para o fornecedor do software de integração e, em seguida, enviados para nosso banco de dados. O controle de disponibilidade dos equipamentos era realizado manualmente e acompanhados em um relatório diário, apenas comparando a passagem de trens com os registros no banco de dados Wayside.

Do lado da indicação de alarmes, os dados eram extraídos de um software integrador e tratados via planilha para avaliação de critérios de parada/restrição. Nesse cenário, não havia nenhuma tela de alerta em tempo real e os operadores tinham que acompanhar, minuto a minuto, o software integrador.

## **ANÁLISE DO PROBLEMA**

De forma a garantir um melhor controle dos servidores, sensores e dados dos sistemas Wayside, a primeira melhoria a ser implementada é a alteração no fluxo de dados. Da forma como foi implantado inicialmente, mostrado na Figura 3, temos pouca possibilidade de gestão da informação e status dos servidores de campo, bem como estamos vulneráveis a cyber ataques, já que os servidores em campo estão abertos para conexão com internet.

Fluxo de Dados Sistema WaySide

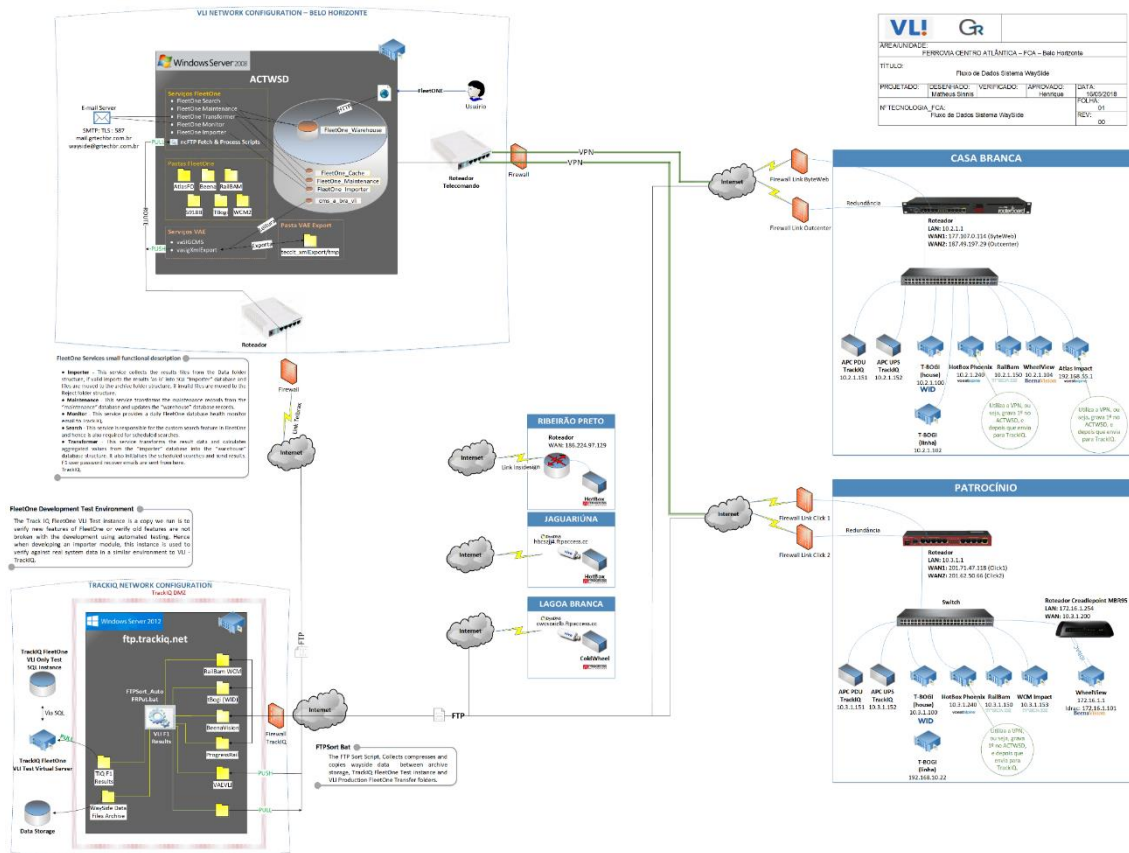


Figura 3 – fluxo de dados pré-implantação

Para garantir alta disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos, é necessário possuir um acompanhamento em tempo real da leitura ou não dos dados, bem como da qualidade desses dados e, não menos importante, informar qualquer anomalia à equipe de manutenção o mais rápido possível. Da maneira como foram implantados os sistemas, não existe nenhuma forma automática de realizar essa análise, sendo que o único monitoramento realizado até então é uma comparação básica e manual entre quantitativo de trens passados pelos sistemas e a quantidade de dados gerados no servidor. Esse modo de monitoramento não garante uma efetiva atuação

das equipes de manutenção dos equipamentos, uma vez que temos a visibilidade de problema apenas 24h após a ocorrência do mesmo. Essa lentidão gera alto risco operacional, por termos a impossibilidade de atuar em um defeito em algum componente do material rodante, fazendo com o que mesmo esteja sujeito a uma ocorrência ferroviária por conta deste modo de falha oculto.

Outro ponto de melhoria necessário é que nem todos os tipos de trens devem ser monitorados pelos Waysides e, assim, entrarem na conta do monitoramento de disponibilidade – por exemplo, trens de serviço, auto de linha etc. Essa inteligência não era tratada da forma como foi concebido o sistema, gerando um HH extra para esse tipo de tratamento. Um exemplo de relatório manual enviado diariamente é mostrado na Figura 4.

		Disponibilidade		Leitura	
		D-2	M	D-1	M
FCA		100%	70,24%	69%	73%

	Km	Disponibilidade		Leitura		Falhas		
		D-2	M	D-1	M	d-2	M	
Centro Sudeste	RailBam	406,9	100%	93,68%	77%	99%	0	0
	T-Bogi	406,9	0%	0%	0%	0%	0	0
	Wheel Impact	406,9	100%	93,58%	100%	98%	0	0
	Wheelview	406,9	100%	93,69%	100%	95%	0	0
	Hot Box	406,9						
	Hot Box	ND						
	Hot Box	ND						
	Cold Wheel	380,3						
Link comunicação Casa Branca			100%	94%				

		Disponibilidade		Leitura	
		D-2	M	D-1	M
FCA		100%	99,81%	83%	87%

	Km	Disponibilidade		Leitura		Falhas		
		D-2	M	D-1	M	d-2	M	
Centro Leste	RailBam	805	100%	99,81%	79%	89%	0	0
	T-Bogi	805	100%	99,81%	79%	87%	0	0
	Wheel Impact			0%	0%	0	0	0
	Wheelview	805	100%	99,81%	93%	86%	0	0
	Hot Box							
	Hot Box							
	Hot Box							
	Hot Box							
Link comunicação Ibiá			100%	99,76%				

	D-1	Mês
Trens ACT	13	202
RailBam	10	200
T-Bogi	0	0
Wheel Impact	13	198
Wheelview	13	192
Hot Box		
Hot Box		
Hot Box		
Cold Wheel		

	D-1	Mês
Trens ACT	14	186
RailBam	11	165
T-Bogi	11	161
Wheelview	13	160
Hot Box		
Hot Box		
Hot Box		
Cold Wheel		

Figura 4 – Relatório diário original

Para atuação da área do CTD (centro de tomada de decisão) a visualização dos alarmes era realizada apenas por consultas ao software integrador. Esse software

recebia os dados que eram centralizados no fornecedor via internet e exibia-os em uma interface web. Como não existia opção de sistema supervisorio, o operador do CTD deveria, a cada passagem de trem por algum sistema Wayside, abrir o sistema integrador e verificar os relatórios de todos os equipamentos em busca de alguma condição insegura ou de alarme – ou, às vezes, até exportar os dados para tratamento em planilhas paralelas, conforme exemplificado na Figura 5 –, para poder atuar inserindo restrição no ativo ou até parando o trem e acionando equipe de socorro. Fica claro que esse ponto deve ser melhorado, já que exige muito serviço manual que, além de pouco confiável, torna o processo lento.

Diante do exposto, percebe-se que a atuação tanto das equipes de manutenção quanto de operação estavam muito aquém do desejado, pelo fato de o processo e os sistemas envolvidos não possuírem nenhuma inteligência ou automatização.

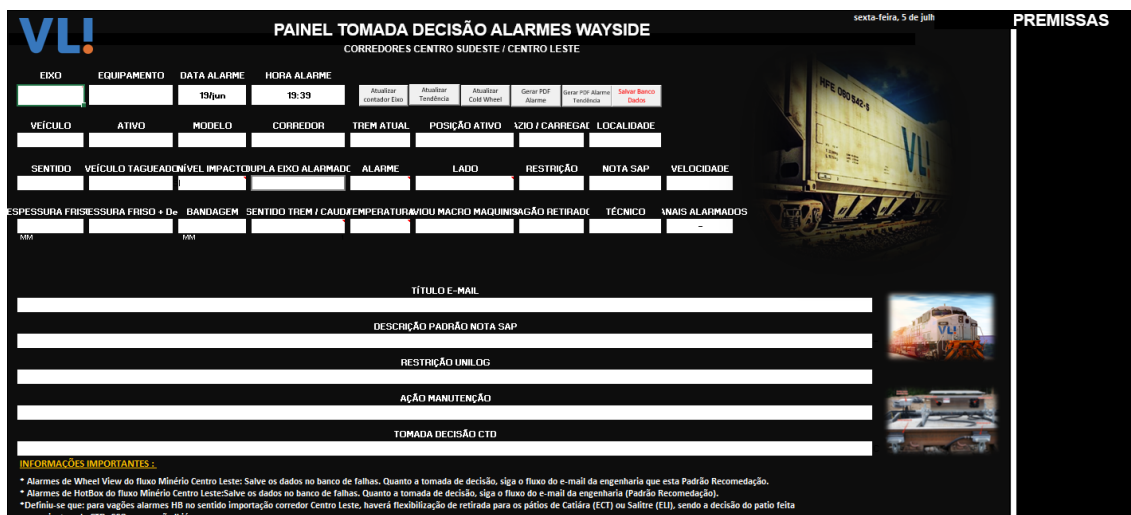


Figura 5 – Planilha para tratamento de dados do Wayside

## **OBJETIVO**

Diante da análise do problema exposta anteriormente, este trabalho tem como objetivo mostrar o desenvolvimento de um sistema para monitoramento de disponibilidade e confiabilidade em tempo real de ativos de monitoramento de material rodante (Waysides) e criação de sistema para indicação de alarmes em tempo real dos equipamentos.

Com esse sistema espera-se aumentar a eficiência no processo de indicação de vagões para a manutenção bem como no processo de atendimento dos sistemas por parte da equipe de eletroeletrônica.

## **PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO**

Diante das melhorias necessárias identificadas, todo o layout de rede foi redesenhado e reconfigurado, de acordo com a Figura 6.



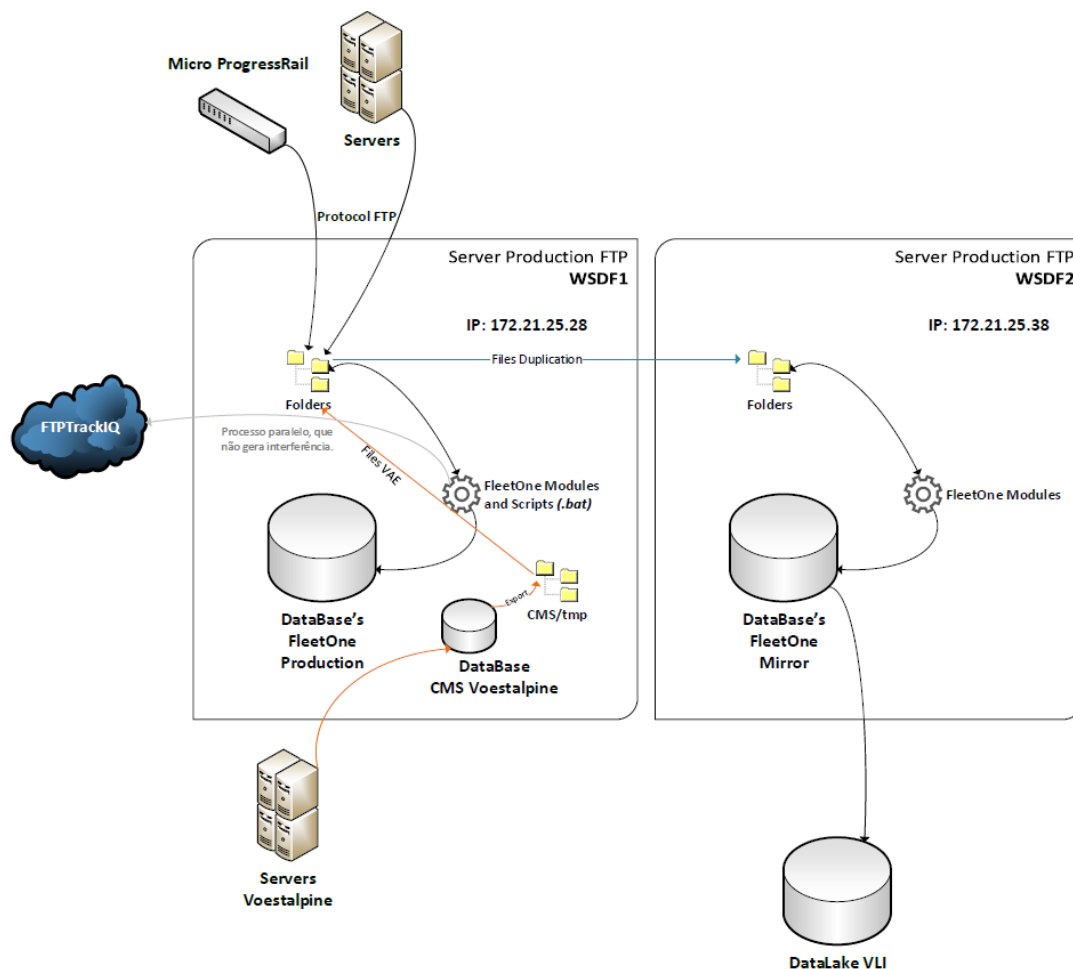


Figura 6 – Novo layout de rede

Todo o fluxo de dados foi redirecionado por conexões seguras VPN de cada servidor de campo para o servidor principal integrador, inseridos firewalls robustos em cada ponta e retirada internet dos servidores de campo. Essas melhorias estão de acordo com as boas práticas de TI e garantiram a segurança de rede tanto para os servidores em campo quando os servidores centralizadores na sede, além de possibilitar melhor controle dos serviços.

Do ponto de vista do servidor centralizador, o mesmo foi dissociado dos demais serviços, por meio de uma nova VLAN em um novo virtualizador, aumentando a segurança. A visualização das máquinas virtuais é mostrada na Figura 7.

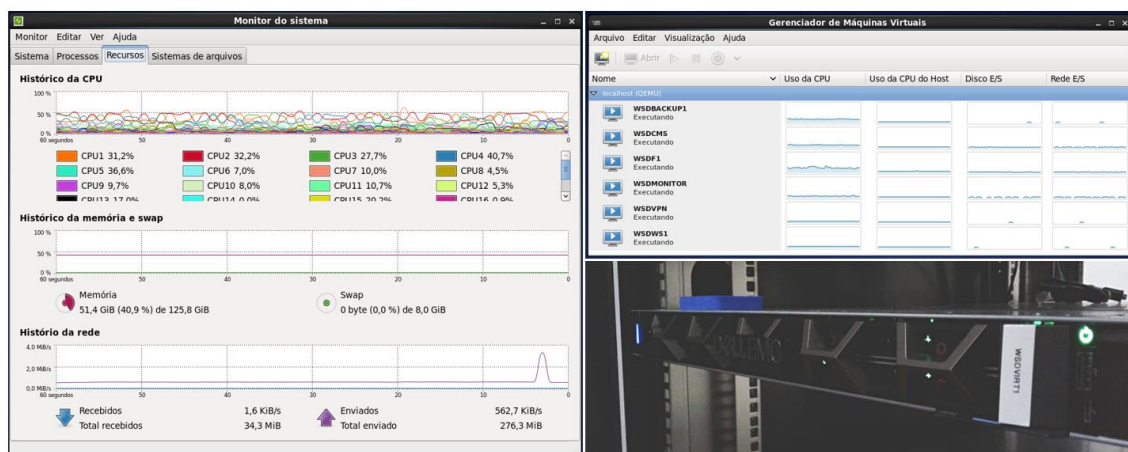


Figura 7 – Máquinas virtuais para segregação dos servidores Wayside

Percebe-se que os dados são enviados, agora, diretamente para o centro de controle, possibilitando total domínio e controle dos mesmos, assim como é possível constatar um aumento na segurança de rede.

Para garantir monitoramento dos serviços, foi criada uma rede no sistema de monitoramento Nagios. Tal sistema possibilita o gerenciamento em tempo real e envio de e-mails em caso de eventos desejados. O sistema configurado é mostrado na Figura 8.

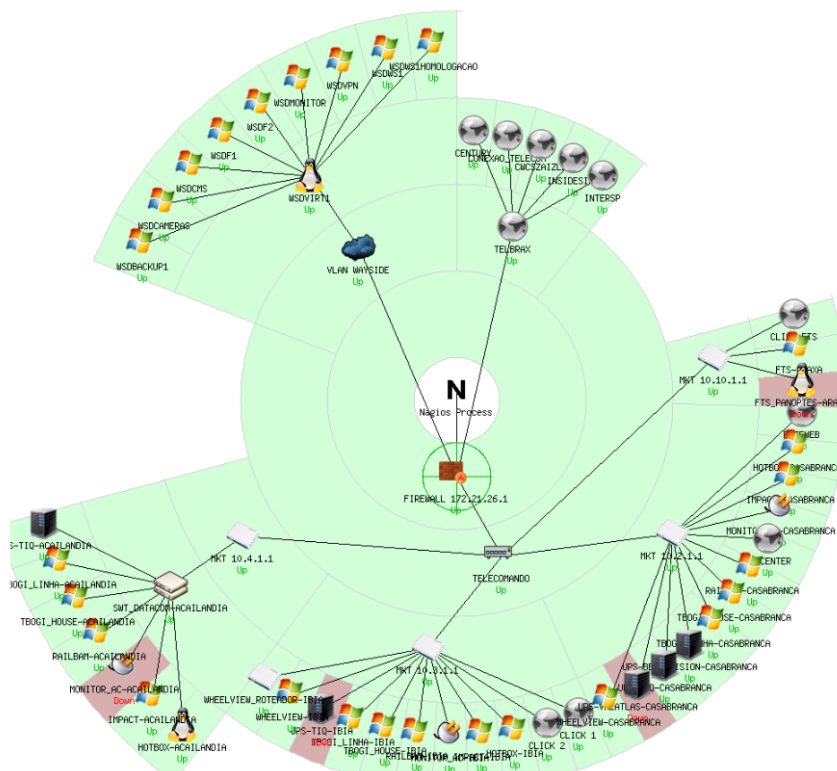


Figura 8 – Painel de monitoramento de rede

Tal sistema possibilita o monitoramento de, por exemplo, queda de energia nos sites e envio de e-mails para a equipe de manutenção, como exemplificado na Figura 9.

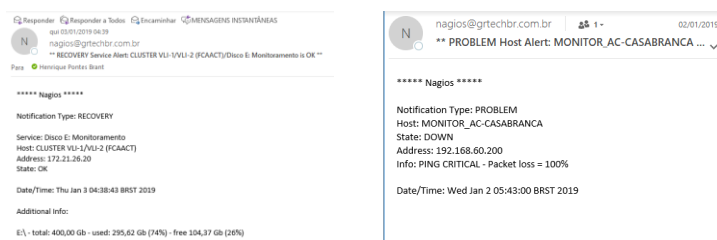


Figura 9 – E-mails de alerta para equipes de manutenção

Esse tipo de atuação garante um atendimento eficaz e um aumento de disponibilidade, possibilitando uma gestão da atuação do gerador de energia bem como abertura de chamados de atendimento na concessionária de energia.

Para atender às melhorias propostas em relação ao monitoramento em tempo real da disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos, foi modelado e desenvolvido um software com acesso a basicamente dois bancos de dados: Banco do Sistema de Licenciamento e Banco do Wayside. O primeiro é necessário para cruzamento dos dados de passagem de trens e o segundo é onde todos os dados de leituras dos equipamentos são centralizados.

Seu princípio de funcionamento se baseia em comparar a hora de passagem de cada trem por cada site com o horário de dados criados no banco de dados Wayside, de forma a garantir o monitoramento de leitura ou não de cada equipamento em tempo real, gerando um indicador “OK” ou “NOK” para cada equipamento para cada trem. Além dessa informação, para alguns sistemas é importante também o monitoramento da quantidade de medições realizadas por rodeiro, gerando um indicador percentual de leitura. Além disso, também foi possível implementar o tempo médio de chegada das informações ao banco de dados do centro de controle. Um exemplo desse painel, atualizado a cada segundo, é mostrado na Figura 10.

PREFIXO	ENTRADA	SAÍDA	RAILBAM	T-BOGI	WHEELVIEW ⊙	IMPACT	HOTBOX	
J479	26/06/2019 09:54:10	26/06/2019 10:17:20	OK	OK	OK	73,59%	OK	OK
C654	26/06/2019 09:04:45	26/06/2019 09:38:02	OK	OK	OK	81,09%	OK	OK
M580	26/06/2019 08:24:54	26/06/2019 08:57:30	OK	OK	OK	61,06%	OK	OK
C350	26/06/2019 07:16:20	26/06/2019 07:43:30	OK	OK	OK	100%	OK	OK
J672	26/06/2019 06:40:28	26/06/2019 07:06:58	OK	OK	OK	100%	OK	OK
<b>Média do Tempo de Processamento:</b>			4min	4min	28min	3min	2min	

Figura 10 – Monitoramento de disponibilidade em tempo real

Nota-se que, percebendo-se uma redução de disponibilidade ou de taxa de leitura, a equipe de manutenção é acionada em tempo mínimo, garantindo uma manutenção ágil, eficiente e bem direcionada em campo.

De posse das falhas em tempo real de cada sistema, foi possível a criação de um novo módulo de indicadores de confiabilidade em tempo real (MTTR e MTBF). Esse módulo faz o cálculo dos indicadores em tempo real conforme as falhas vão sendo criadas e fechadas. Esse painel possibilita um acompanhamento em tempo real da condição dos ativos por parte da Engenharia de Confiabilidade, de forma a garantir um melhor desempenho dos sistemas e acompanhar o andamento de acordo com a meta. Um exemplo da tela é mostrado na Figura 11.

	MTBF ATUAL	MTBF META	MTTR ATUAL	MTTR META	Nº FALHAS
Centro-Sudeste	78,8	521,4	4,8	22,1	88
Site Casa Branca	52,8		1,8		58
RailBam	121,1		1,1		5
T-Bogi	75,0		1,4		8
WheelView	14,0		2,1		38
HotBox	304,4		1,2		2
Impact	177,7		28,0		3
HotBox Jardinópolis	230,7		75,0		2
HotBox Jaguariúna	305,2		0,4		2
HotBox Estiva	611,2		0,0		0
ColdWheel Aguai	93,4		8,4		6

Figura 11 – Painel de indicadores

Para a melhoria desejada para a equipe de atuação com os dados e alarmes enviados pelos equipamentos, o módulo de alarmes foi desenvolvido com base nos parâmetros da Engenharia de Vagões VLI. O sistema realiza a leitura em tempo real dos dados que são inseridos no banco Wayside e verifica se algum componente ou vagão se enquadra nos quesitos de alarme, reativo ou preditivo. Após tratar as informações, o software exibe os alarmes em um painel, atualizado a cada segundo, que é visualizado 24h por dia pela equipe do CTD. De forma a garantir um atendimento eficaz, além de exibir alarmes de forma oscilante em vermelho no painel, o mesmo envia e-mails com dados históricos do vagão identificado no parâmetro de alarme. O painel de alarmes é mostrado Figura 12 e um exemplo de e-mail de alarme é mostrado na Figura 13.

Monitor de Alarmes de Trens													11:14
DATA	PREFIXO	O.S	ATIVO	POSIÇÃO	LOCALIZAÇÃO	EQUIPAMENTO	ALARME	Nº DE VEÍCULOS	COMPRIMENTO(m)	VEL. (Km/h)	SENTIDO	DESCRIÇÃO	
26/06/2019 09:54:30	M580	41960566			LAGOA BRANCA	COLDWHEEL	BAIXO	16	203	29	EXPORTAÇÃO		
26/06/2019 09:38:01	J332	41960907			PATROCÍNIO	HOTBOX	DIFERENCIAL	91	1442	44	EXPORTAÇÃO	EIXO: 193 - Temperatura Relativa Esquerda: 55,000°C   Temperatura Relativa Direita: 18,000°C. Diferencial: 37	
26/06/2019 09:37:43	J332	41960907			PATROCÍNIO	IMPACT	MÉDIO	91	1427	44	EXPORTAÇÃO	299 kN	
26/06/2019 09:37:19	C350	41960970			LAGOA BRANCA	COLDWHEEL	BAIXO	76	1264	21	EXPORTAÇÃO		
26/06/2019 09:10:24	C654	41961081			CASA BRANCA	IMPACT	BAIXO	76	1288	57	EXPORTAÇÃO	142 kN	
26/06/2019 08:42:18	J318	41961140			AÇAILÂNDIA	IMPACT	MÉDIO	158	2869	48	EXPORTAÇÃO	223 kN	
26/06/2019 08:30:40	M580	41960566			CASA BRANCA	HOTBOX	DIFERENCIAL	77	1059	58	EXPORTAÇÃO	EIXO: 73 - Temperatura Relativa Esquerda: 60,000°C   Temperatura Relativa Direita: 21,000°C. Diferencial: 39	
26/06/2019 08:30:23	M580	41960566			CASA BRANCA	IMPACT	BAIXO	77	1058	58	EXPORTAÇÃO	176 kN	

Figura 12 – Tela de alarmes em tempo real

Assunto: ALARME WHEELVIEW FRISO - HPD 617711

DATA: 03/07/2019 07:32:26

LOCALIZAÇÃO: PATROCÍNIO

PREFIXO: C105

O.S: 41962048

ATIVO: HPD 617711

POSIÇÃO: 58

SENTIDO: IMPORTAÇÃO

FRISO(media): 3D: 18,90;

BANDAGEM: 3D: 0,00;

HISTÓRICO DE FRISO:

Figura 13 – E-mail exemplo de alerta para roda com defeito

Além das melhorias geradas com o sistema implantado descrito anteriormente, também foi possível, com ele, automatizar e otimizar os relatórios diários que antes eram enviados. No novo relatório são enviados os acumulados mensais e diários de disponibilidade, alarmes, disponibilidade de links e servidores e análise de eventos. Um exemplo dos dados gerados e enviados diariamente é mostrado na figura 14.

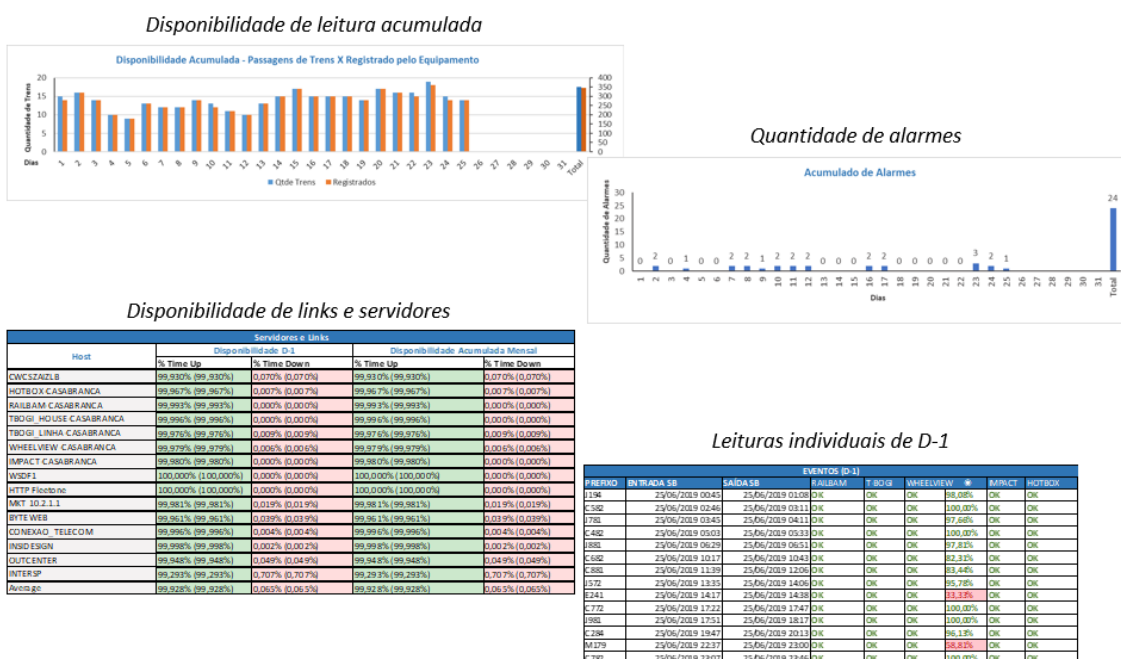


Figura 14 – dados enviados no relatório diário de disponibilidade

O sistema descrito foi implantado há 6 meses (outubro de 2018) e já foi possível notar inúmeros ganhos com o processo dos Waysides, que serão descritos na análise de resultados.



## ANÁLISE DOS RESULTADOS

Após a implantação do projeto foi possível verificar a utilização e direcionamento das equipes de manutenção em tempo real, reduzindo muito o impacto de eventuais defeitos ou paralisações dos equipamentos Wayside, aumentando a segurança operacional da circulação ferroviária na VLI.

Com a centralização e controle automático das falhas, foi possível montar relatório para acompanhamento mensal das falhas, estratificando em gráficos de Pareto para melhor entendimento das causas raiz de cada defeito/falha. Um exemplo de estratificação mensal e anual é mostrado nas Figuras 15 e 16.

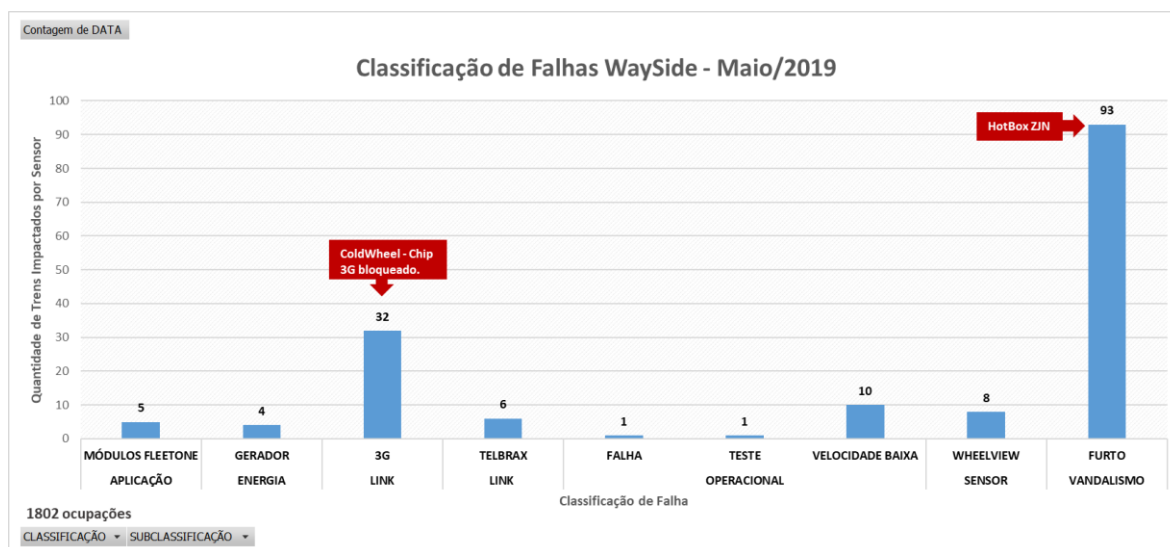
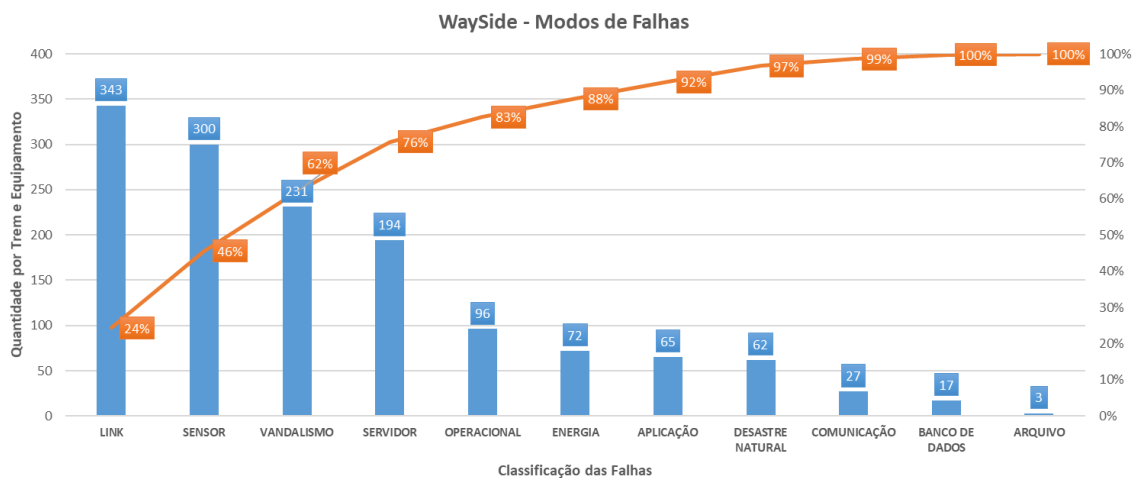


Figura 15 – Classificação de falhas mensal (exemplo)



**Figura 16 - Estratificação anual de falhas**

De posse desses dados estratificados, é possível direcionar os acionamentos para as equipes responsáveis de forma otimizada e eficiente, garantindo uma mitigação mais veloz da falha. Como exemplo, dependendo do modo de falha/causa raiz, pode-se direcionar o acionamento para a equipe de Telecom, suporte especializados dos fornecedores, equipes de manutenção eletroeletrônica e equipes de manutenção de servidores/TI/banco de dados.

A eficácia desse método direcionado de acionamentos pode ser comprovada pela análise da quantidade de falhas totais nos sistemas Wayside registradas antes e depois da implantação do sistema de gestão dos dados descrito nesse artigo. Pela Figura 17 pode-se perceber que um mês após a implantação do sistema, tivemos uma redução no número total de falhas em, aproximadamente, 70%, reduzindo de 1.147 para 344 no primeiro mês. Valor esse que reduziu ainda mais 5 meses após a implantação, chegando à casa das 205 falhas mensais.

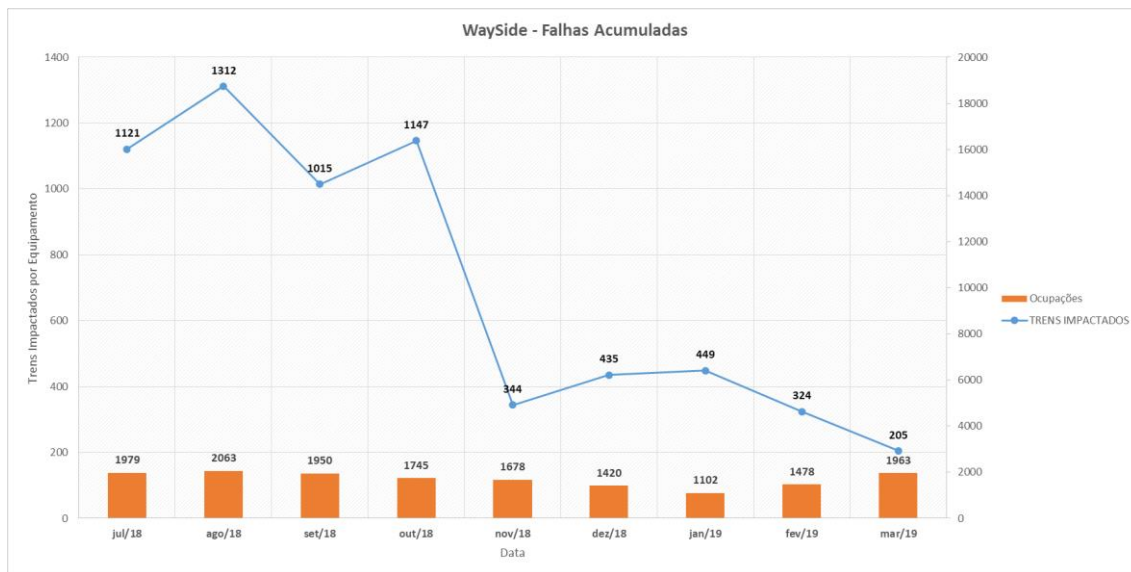


Figura 17 – Evolução das falhas antes e após implantação do sistema

De forma a expurgar qualquer sazonalidade e validar os dados descritos anteriormente, foi montado um gráfico com as falhas e também com a razão entre falhas/quantidade de trens. Essa segunda curva evidencia a redução de, aproximadamente, 70% de falhas. Esse gráfico é mostrado na Figura 18.

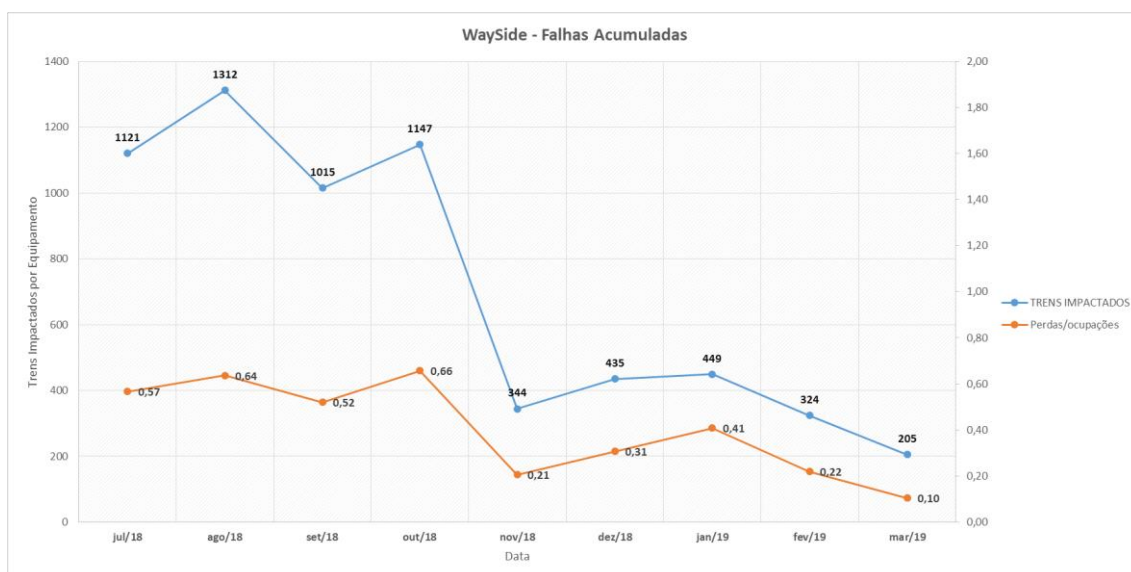


Figura 18 – Evolução das falhas/quantidade de trens

## CONCLUSÕES

Após a implantação do sistema de monitoramento de dados, disponibilidade, confiabilidade e alarmes em tempo real dos equipamentos Wayside foi possível verificar, ao longo de 6 meses, ganhos efetivos em diversos processos, dentre eles:

- **Manutenção eletroeletrônica:** com o painel de disponibilidade em tempo real, os direcionamentos de manutenção foram feitos de forma otimizada e no menor tempo possível, garantindo uma atuação no início da falha e um menor tempo de indisponibilidade dos equipamentos – vitais para a segurança operacional da Operação Ferroviária na VLI;
- **Engenharia de Confiabilidade:** com o painel de indicadores em tempo real, é possível acompanhar diariamente a evolução dos indicadores de MTBF e MTTR para traçar planos de rápida resposta em caso de desvios dos valores orçados;
- **Engenharia de Material Rodante:** com os indicadores de alarmes e qualidade dos dados em tempo real gerados pelos equipamentos é possível acionar o suporte especializado dos fornecedores de forma rápida, em caso de divergência ou baixa performance;
- **Centro de Tomada de Decisão:** para o CTD o processo de indicação de vagões com defeitos às oficinas, ou até mesmo indicações de parada de trens, foi completamente revisto e otimizado, garantindo maior confiabilidade no tratamento das informações e acionamentos dos trens.

Por se tratar de um processo que depende de parâmetros e fluxos internos, foi avaliado que sistemas de mercado não atenderiam, seriam menos flexíveis a integrações e desenvolvimentos e ainda necessitariam de um maior dispêndio orçamentário.

Assim, com tudo que foi evidenciado e vivenciado, pode-se dizer que os sistemas Wayside agora são de fato utilizados próximos do seu potencial pleno, situação bem diferente de quando o projeto se iniciou.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Venâncio, Lucas - DT MRO 10798 /2016 - PADRÃO TÉCNICO DE PROCESSOS PARA OS WAYSIDES VLI
- Entity Framework 6, Microsoft, <https://docs.microsoft.com/pt-br/ef/ef6/>. Acesso em Julho 2019
- Visual C# Developer Center, <https://msdn.microsoft.com/pt-br>. Acesso em Julho 2019.
- ASP.NET MVC Eduardo Pires, <https://www.eduardopires.net.br/category/mvc/>. Acesso em Julho 2019
- Linq e Lambda, CAELUM, <https://www.caelum.com.br/apostila-csharp-orientacao-objetos/linq-e-lambda/>. Acesso em Julho 2019