

SISTEMA AUTOMÁTICO DE POSICIONAMENTO DE VAGÕES PARA TROCA DE RODEIROS *

Antônio César Freitas¹
Lucas Machado Barbosa de Faria²

Resumo

Este trabalho descreve o funcionamento do sistema automático desenvolvido para realizar o posicionamento de vagões durante a troca de rodeiros, que opera no Centro de Troca de Rodeiros – CTR, localizado nas instalações da empresa Vale em São Luís do Maranhão. O posicionamento de composições com até 110 vagões e com precisão de centímetros, resguardando a folgas entre vagões, é um desafio na rotina de manutenção. Para superar esse desafio foi desenvolvido um sistema automático para posicionar as composições de vagões, que utiliza medição baseada em tecnologia laser, com precisão de centímetros, e que atualiza continuamente a distância entre um rodeiro e o ponto correto de parada, possibilitando assim o posicionamento de rodeiros.

Palavras-chave: Rodeiros; Ferrovia; Manutenção; Controle.

AUTOMATIC SYSTEM FOR POSITIONING OF WAGON TO REPLACEMENT OF WHEELSET

Abstract

This paper describes the operation of the automatic system developed to perform the positioning of wagons during the replacement of wheelset, which operates in Railway Maintenance Center of Vale in São Luís do Maranhão/Brazil. It is a big challenge in the maintenance routine to execute with precision of centimeters the positioning of compositions with up to 110 wagons, keeping the gaps between wagons. For surpass this challenge it has been developed an automatic system for positioning wagon compositions. It uses laser-based measurement with centimeter precision and continuously updates the distance between a wheel and the correct stop point, thus enabling the positioning of the wheelset.

Keywords: wheelset; Railway; Maintenance; Control

¹ Engenheiro Eletricista - Ênfase em Sistemas Eletrônicos, CEFET, MG – 1993 / Diretor de Tecnologia e Projetos Turn-Key da TSA, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil

² Engenheiro de Controle e Automação – PUC-MG – 2019, Engenheiro de Automação do Departamento de Engenharia da TSA, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil |

1 INTRODUÇÃO

O sistema automático de posicionamento de vagões tem por objetivo controlar a locomotiva de modo a conduzi-la até um ponto de parada para que seja realizada a troca dos rodeiros dos vagões.

O rodeiro é uma parte do vagão normalmente composta de duas rodas interligadas por um eixo e um par de rolamentos acoplados às extremidades do eixo, conforme ilustrado na Figura 1.



Figura 1. Exemplos de Rodeiros

O procedimento automático busca assegurar que os rodeiros dos vagões, sejam posicionados, de forma segura, em um tempo curto e de maneira precisa, sobre a plataforma de troca, comumente denominada “mesa falsa”.

Em um procedimento tradicional, sem o sistema de posicionamento automático da composição, a locomotiva é comandada por um maquinista que recebe orientação, via rádio, do operador de linha, o qual busca posicionar uma composição de 110 vagões com uma tolerância de centímetros. Essa operação implica em uma grande repetibilidade nos movimentos de manobra, devido a exigência de precisão no posicionamento, resultando em um tempo elevado para se atingir o ponto exato, e também um alto custo por necessitar de vários maquinistas a disposição para acompanhar o procedimento.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Composição do Sistema

Basicamente, o sistema é composto de duas partes ou subsistemas: Um sistema móvel que fica embarcado na locomotiva, o qual irá controlá-la, e outro sistema fixo instalado no Centro de Troca de Rodeiros – CTR. Essa parte fixa é composta de elementos que identificarão os rodeiros a serem substituídos, considerando os presentes na composição.

A segunda parte do sistema manterá uma comunicação contínua com o sistema embarcado na locomotiva, para assegurar o correto posicionamento do rodeiro sobre a plataforma de troca (mesa falsa).

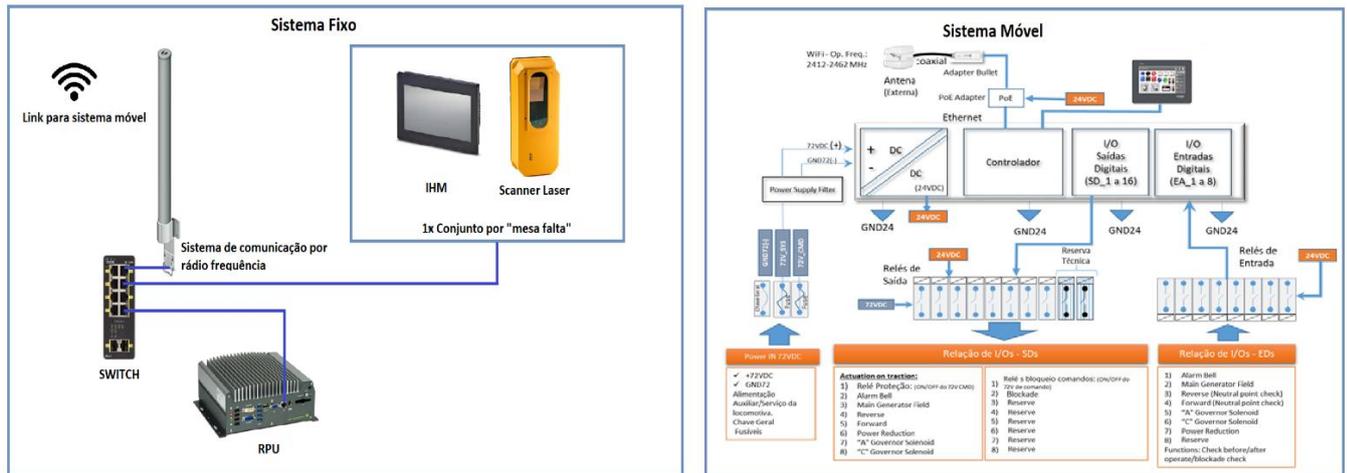


Figura 2. Arquiteturas dos Sistemas Fixo e Móvel

2.2 Interface para múltiplas Unidades – MU

Para que a locomotiva seja comandada pelo sistema de posicionamento será utilizado o controle já instalado na locomotiva, através da interface elétrica para operação com Múltiplas Unidades [MU].

Sendo que atuação elétrica do sistema se dará na régua de bornes mais apropriados à instalação, onde esses sinais estão eletricamente conectados.

A lista de sinais apresentadas na tabela abaixo, refere-se a todos os sinais disponíveis na interface MU padrão, que está disponível em todas as locomotivas para configurações com múltiplas unidades, objetivando o aumento da potência na tração da composição quando em modo de operação com múltiplas unidades.

Tabela 1. Lista de sinais disponíveis

Pino	Função	Pino	Função
1	Power Reduction	15	"A" Governor Solenoid
2	Alarm Bell	16	Engine Run
3	"D" Governor Solenoid	17	Dynamic Brake Control
4	Negative Voltage Common	18	Spare
5	Emergency Sand	19	Spare
6	Generator (Main Alternator) Field	20	Dynamic Brake Warning
7	"C" Governor Solenoid	21	Dynamic Brake Interlock
8	Reverse	22	Air Compressor Control
9	Forward	23	Manual Sand
10	Wheel Slip Indicator	24	Dynamic Brake Excitation
11	Spare	25	Headlight
12	"B" Governor Solenoid	26	Ground Relay Reset
13	Control Circuits and Fuel Pump	27	Spare
14	Spare		

Os pontos de tração das locomotivas podem ser configurados através dos sinais da interface MU em dois modos: operação com Múltiplas Unidades – Locomotiva comandada ou “comandante”.

O sistema atuará nos sinais em modo “comandante” para tracionar a composição e movê-la até o ponto de interesse onde se obterá o posicionamento do rodeiro sobre a mesa “falsa”.

Os sinais a serem controlados, subconjunto dos sinais da interface MU, serão capturados nos bornes específicos de cada modelo de locomotiva envolvida na instalação do sistema.

Para se ter um controle em baixa velocidade, o sistema atuará também no sinal do MU denominado “*Power Reduction*” ou “*Slow Speed*”.

A direção de movimento – frente/ré, também será controlada por sinais da interface MU (*Reverse/Forward*), bem como os outros sinais necessários a preparação da locomotiva para a aplicação de tração.

2.2 Visão geral da Operação do sistema

No processo normal de troca de rodeiros, estão envolvidos o operador da linha e o maquinista, os quais se comunicam através canal de rádio.

Durante o funcionamento do sistema de Posicionamento, tanto o operador e o maquinista ficarão passivos em relação ao processo, sendo que o operador atuará apenas no momento de acionamento do sistema e posteriormente monitoramento.

No procedimento de “entrega da locomotiva” pelo maquinista para o sistema de controle, estão previstas as seguintes etapas:

1. Ligar a chave geral do sistema
2. Posicionamento do punho de recuo na posição “NEUTRO”
3. Saque do punho do seu slot no painel de bordo da locomotiva.

Cumpridas essas etapas o sistema assume o controle e o maquinista não interfere mais no posicionamento.

2.3 Descrição do Sistema Fixo de Posicionamento

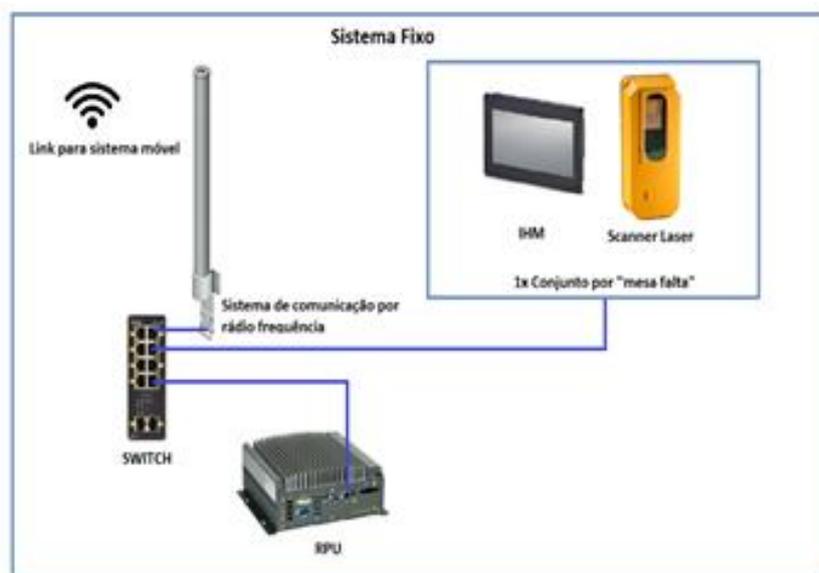


Figura 3. Arquitetura do Sistema Fixo

O sistema fixo, é composto basicamente por três elementos:

- Scanner à laser;
- Unidade de Processamento Remoto (RPU);
- IHM;

O sistema fixo, além de receber as entradas de dados através de sua IHM, efetuará a contagem dos rodeiros, medirá a velocidade da composição e a distância do rodeiro a ser trocado até à mesa falsa, através do scanner a laser. E, a partir dessas informações, estabelecerá comunicação com o sistema embarcado na locomotiva de modo a indicar atuações nos pontos de tração, controlando assim velocidade até a parada do rodeiro sobre a mesa falsa.

Quando o rodeiro requerido estiver se aproximando da mesa falsa, o sistema atuará na redução do ponto de aceleração, levando-a próximo a zero, até que seja retirado por completo o ponto de aceleração e a excitação para a parada da locomotiva.

Ao entrar na oficina - CTR, os rodeiros requeridos para a substituição já estarão identificados pelo número vagão na composição e pelo número do rodeiro no vagão, e estes devem ser precisamente posicionados nas mesas falsas para a troca.

O sistema identificará o número do vagão na composição, e do rodeiro em cada vagão, através de informações vindas do scanner que possibilitam a contagem desses dois elementos de forma distinta e precisa. A seguir apresenta-se o layout das vias de acesso às mesas falsas no CTR.

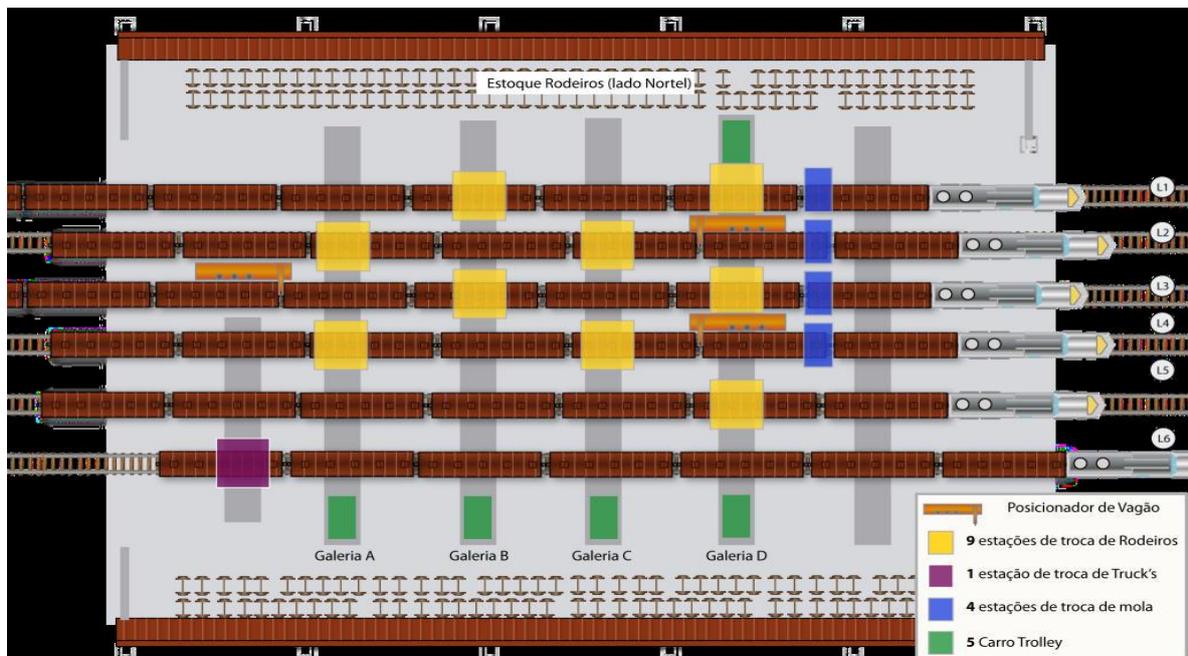


Figura 4. Layout das vias de acesso às mesas falsas no CTR

2.3.1 Scanner

O Scanner permitirá a medição baseado em laser, com precisão de centímetros. Este dispositivo atualiza continuamente a distância entre um rodeiro e o ponto correto de parada possibilitando assim o posicionamento e bloqueio autônomo de rodeiros.

Principais características técnicas do Scanner:

- Combinação de um scanner laser 2D com uma base giratória;
- Angulo de visada horizontal de 340°;
- Alcance de medição de 300m;
- Alta velocidade de varredura
- IP67;
- Baixo consumo de energia;
- Disponibiliza dados em tempo real via Ethernet;



Figura 5. Foto ilustrativa do Scanner laser 3D – Fabricação Triple-in

2.3.2 RPU (Unidade de Processador Remoto)

Na RPU é realizado o processamento das informações do scanner, execução da lógica para detecção de rodeiros a ser trocado em função da programação de rodeiros registrada no sistema.

A RPU gerencia a comunicação com o sistema embarcado, além de processar as entradas através das IHM's. Além disso, a RPU conciliará a informações, de modo a assegurar que uma mesma locomotiva não seja registrada para comando em mais de um posto, assegurando que só haja uma conexão entre a locomotiva e um posto de comando.



Figura 6. Foto ilustrativa de um computador Industrial - RPU

2.3.3. IHM para Supervisão e Comando Remoto

O sistema de comando remoto está baseado em uma IHM para cada linha. Desta forma se assegura a operação individualizada das linhas.

A IHM será utilizada para entrada de dados das locomotivas, tais como: rodeiros requeridos para a troca, número da locomotiva que está na linha, além das opções de controle remoto da locomotiva específicos ao posicionamento do rodeiro, como por exemplo: iniciar, frente, recuo, próximo rodeiro, parar, bloquear, etc.



Sistema de Posicionamento de Rodeiro					1. V. P. P. S. I.
Manete Virtual	Linha	Locomotiva	Vagão	Rodeiro	Status
Iniciar	1	244	100	1	Posicionado
Parar	1	244	05	2	Posicionado
Frente	1	244	05	2	Posicionado
Recuo	1	244	02	4	Realizado
Aplicar Posto I	1	244	10	1	Realizado
Aplicar Freio Dinâmico	1	244	09	2	Realizado
Bloquear	1	244	2	1	Realizado
Cadastrar Rodeiro	1	244	2	4	Realizado
Sair	ALARME		SEM ALARME		
Messages / Alarms					

Figura 7. Figura Ilustrativa da IHM

2.4 Descrição do Sistema Móvel Embarcado de Posicionamento

O sistema embarcado será composto com um controlador, módulos de saídas discretas (saídas digitais), módulo de entradas discretas (entradas digitais), conjunto de relés isoladores para as entradas e saídas, fonte de alimentação, e sistema de comunicação WiFi (rádio e antena).

Os componentes selecionados na solução atendem os requisitos de vibração e temperatura, específicos para aplicação ferroviária.

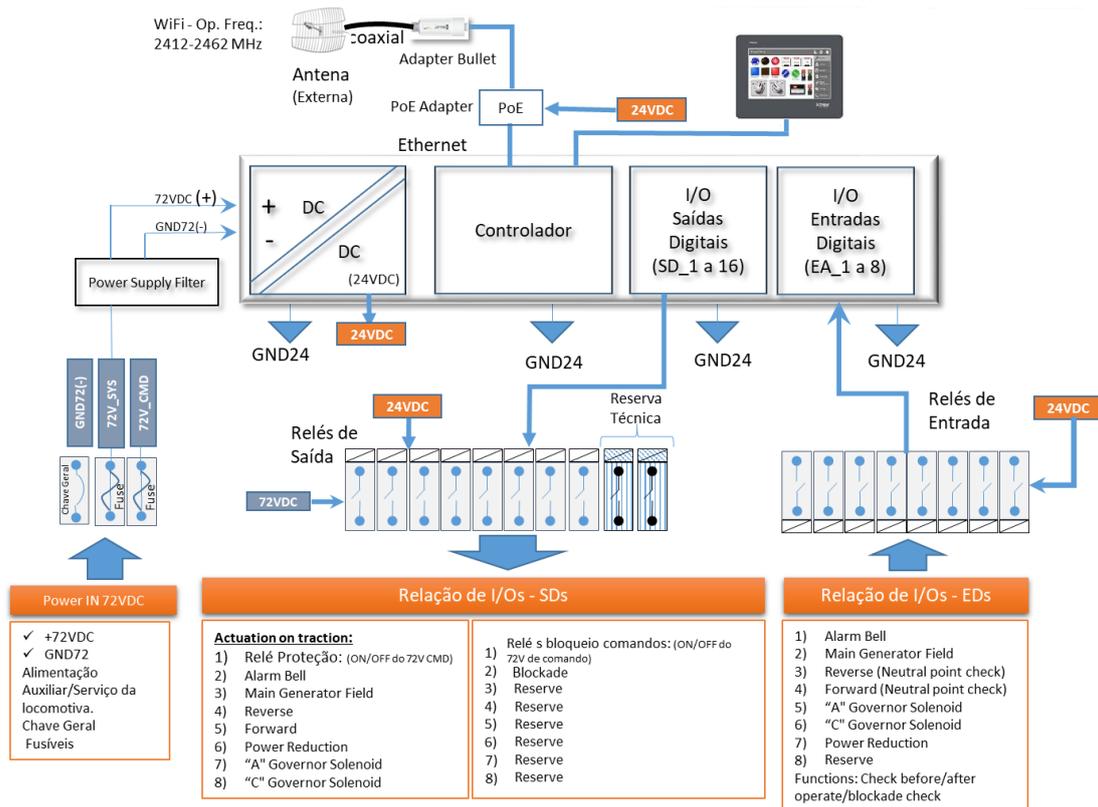


Figura 8. Arquitetura do Sistema Embarcado na Locomotiva

2.5 Descrição dos componentes do Sistema Embarcado

2.5.1 Saídas Digitais

As saídas digitais do sistema serão isoladas por relés específicos para aplicação ferroviária. Suas bobinas serão acionadas pelas saídas do controlador, que comutará sobre elas a tensão de 24V interna do sistema de controle, que é isolada galvanicamente da tensão de entrada 72V (tensão da bateria), que atuará nos comandos.

A isolação se dará pela isolação intrínseca do relé, entre a bobina e contatos, produzindo uma isolação da ordem de 3KV.

As saídas controlarão os sinais do MU/Trainline de modo a aplicar pontos (1 a 4) e ativarão os demais sinais de controle do MU/Train line. Uma das saídas atuará no sinal do MU denominado "Power Reduction", de modo a reduzir a potência do ponto aplicado. Desta forma, com a potência aplicada aos motores da locomotiva reduzida, o controle da aceleração e velocidade se darão pela atuação nos pontos de tração de 1 a 4.

2.5.2 Entradas Digitais

O sistema prevê entradas digitais para efetuar verificações antes e depois dos acionamentos. Uma dessas entradas fará o monitoramento contínuo da campanha de alarme da locomotiva. Desta maneira, caso alguma falha ou alarme seja gerada por algum sistema da locomotiva que seja notificada através da campanha, o sistema embarcado identificará. A presença de sinal nesse ponto de monitoramento, sem ter sido promovida pelo sistema embarcado, será considerado como algum alarme na locomotiva. Assim, o sistema desativará os sinais de aceleração e excitação como medida de proteção.

2.5.3 Fonte de Alimentação

A fonte de alimentação é composta por um conversor DC/DC comutado e isolado (4KV), com especificações de faixa de entrada e temperatura voltadas para aplicações ferroviárias e tem sua saída em 24VDC com capacidade de corrente de 2A, e é eletricamente isolada da tensão de entrada (72VDC da locomotiva).

2.5.4 Interface de Comunicação

Através de uma porta Ethernet disponível no controlador, será realizada a comunicação com o sistema fixo.

Um dispositivo de interface Ethernet /RF (WiFi), aplicado à interface Ethernet do controlador, converterá a comunicação do sistema em wireless (WiFi).

2.6 Sinais Selecionados para controle das locomotivas

Os sinais da locomotiva que serão utilizados na interface com sistema serão capturados nos bornes específicos do plug de cada modelo de locomotiva (EVO, DASH-9, SD-80 e SD-70), e compreende um subconjunto do total dos sinais disponíveis.

Para todos os modelos de locomotivas serão considerados os mesmos sinais no que tange a função, observando a devida indicação dos bornes específicos onde os sinais serão tomados para interface, pois seguirá padrão similar de controle.

O subconjunto de sinais selecionados como necessários para o controle das locomotivas são apresentados na próxima tabela e são aplicados a todos os modelos de locomotivas.

Tabela 2. Subconjunto de sinais utilizados no controle das locomotivas

Pin (MU Plug)	Descrição
2	Alarm Bell
6	Main Generator Field
8	Reverse
9	Forward
26	Power Reduction
15	"A" Governor Solenoid
7	"C" Governor Solenoid
24	Dynamic Brake Excitation
17	Dynamic Break Setup
21	Dynamic Brake Interlock

A atuação na aceleração da locomotiva se dará através de sinais na régua de bornes.

A locomotiva será controlada no modo de operação normal, como comandante e em configuração unitária (uma só locomotiva). Entretanto não existem restrições para o sistema operar em uma configuração com dupla tração. Neste caso o sistema embarcado deverá ser ligado somente na locomotiva comandante.

2.7 Descrição da operação do sistema para o posicionamento do rodeiro

2.7.1 Atuação do sistema embarcado

O comando da locomotiva pelo sistema ocorrerá exclusivamente durante a operação de posicionamento do rodeiro.

O operador de linha interagindo com o sistema através da IHM, iniciará o processo de posicionamento e poderá definir a direção do deslocamento (Frente/Recuo) e acionar o bloqueio da locomotiva, suspendendo assim todos os sinais gerados pelo sistema na tração e excitação.

O maquinista deverá entregar a locomotiva para o sistema com punho reversor na posição neutro e sacado, bem como freios aliviados, sem nenhuma aplicação.

2.7.2 Condição inicial

1. Locomotiva parada na entrada do CTR atendendo à sinalização da via
2. Rodeiros requeridos para a troca já estão registrados no sistema [1]
3. Comunicação via rádio estabelecida entre o operador da linha e o maquinista, informando que se dará o início ao processo e a fará a passagem do controle da locomotiva para o sistema, com as devidas confirmações de alinhamento entre as partes, maquinista e operador de linha.
4. O maquinista liga o sistema embarcado através de sua chave geral e aguarda a confirmação do operador da linha. Com a confirmação do operador de linha e estabelecimento da comunicação entre o sistema embarcado e o posto de controle fixo, o sistema assumirá o controle e indicará esta situação através de sinalização sonora e luminosa para o Maquinista.

2.7.3 Início da Operação de Posicionamento

1. Maquinista confirma que as condições iniciais descritas anteriormente foram atendidas.
2. Operador da linha, ativa sistema de posicionamento de rodeiros através da IHM da linha em operação.
3. Assim que o sistema conclua todas as verificações de estado dos sinais, que inclui o check de posição do punho reversor na "Neutro", a informação de que a locomotiva está sob comando do sistema será indicada na IHM para o operador da linha e para o maquinista será gerada sinalização luminosa e sonora através da campainha de alarme da locomotiva.

2.7.4 O sistema passa comandar a locomotiva

1. O sistema embarcado inicia a ativação dos sinais necessários para preparar a locomotiva para então aplicar aceleração à composição. Dentre os sinais ativados está o "Power Reduction", que permitirá um controle mais fino da velocidade, requerida especialmente quando a estiver próxima ao ponto de parada do rodeiro sobre a mesa.
2. O sistema embarcado atua nos pontos de tração (1 a 4) de forma a imprimir a velocidade desejada. Essa velocidade é definida pelo sistema em função da distância do rodeiro até à mesa, respeitando o limite de velocidade de 5Km/h.
3. O sistema reduzirá a velocidade automaticamente quando o rodeiro estiver se aproximando da mesa falsa, desativando na sequência os sinais de aceleração e excitação para atingir o ponto exato de parada sobre a mesa falsa.

2.7.5 Posicionamento efetuado (bloqueio elétrico)

O sistema identifica o posicionamento através do contínuo monitoramento através do scanner, que visualiza uma região que compreende a mesa falsa e mais alguns metros antes desta, aplicando o bloqueio elétrico na locomotiva e desativando todos os pontos de tração e excitação.

Além disso, o sistema bloqueia a tensão de comando (72V) de todos os acionamentos, de modo a assegurar que a composição não seja tracionada.

Junto ao posto de controle com respectiva IHM haverá uma botoeira de segurança com cadeado que inibirá operações de controle da IHM, impossibilitando qualquer novo comando à locomotiva controlada por aquele posto.

Notas:

[1] – O operador de linha poderá parar o processo de posicionamento para a inclusão (cadastro) de rodeiros que estão por passar pelo ponto de posicionamento (mesa falsa) ou mesmo que tenha passado desse ponto, bastando neste caso que atue na IHM ativando o sentido de direção pretendida (Frente/Recuo), após parar a composição e posteriormente atue na opção “Iniciar”.

[2] - É recomendado como procedimento operacional o desligamento do sistema embarcado através de sua chave geral, tão logo o maquinista receba a comunicação do operador de linha que a locomotiva voltou ao seu controle – Locomotiva sob controle do maquinista.

2.7.6 Interação entre o sistema fixo e o sistema Móvel

Através de um canal de comunicação WiFi, o sistema fixo se comunicará com o sistema móvel (embarcado) na locomotiva interagindo no controle da locomotiva. Cada controlador embarcado estará associado ao número da locomotiva em que está instalado.

A confirmação do link de comunicação será realizada através de 2 etapas:

a) Certificação que um posto de controle interaja corretamente com a locomotiva daquela linha:

O operador da linha registra na IHM o número da locomotiva que está na linha onde o posto está sendo operado e inicia o link de comunicação. O operador de linha receberá a confirmação na IHM que o link foi estabelecido com a locomotiva, cujo número foi imputado. Como o sistema embarcado terá IP fixo, vinculado à programação, haverá a certeza de que o link foi estabelecido com a locomotiva registrada na IHM pelo operador. Caso contrário o sistema retornará erro de inconsistência de dados (Número da locomotiva x IP da locomotiva) e não estabelecerá o link, não sendo possível efetuar comandos.

b) Manutenção do link:

A partir do link estabelecido, uma lógica de watchdog rodando no sistema embarcado validará o link através de comandos que devem ser respondidos pela

parte fixa, e vice-versa. A parte fixa também checa a comunicação com a parte embarcada durante todo o processo.

Em caso de perda de comunicação a falha é exibida na IHM e o operador da linha terá que chamar a manutenção para verificar o problema ou proceder posicionamento via rádio da forma tradicional, até que a manutenção regularize o problema, o que será uma condição de exceção.

2.7.7 Sistema devolve o Comando para a Locomotiva

Após a substituição do rodeiro, o operador da linha atuará através da IHM, informando ao sistema que a troca daquele rodeiro foi finalizada. É sugerido que o operador da linha informe também ao maquinista pelo rádio da finalização da troca de cada rodeiro, meramente para alinhamento entre as partes (maquinista e operador de linha) do curso do processo.

Caso haja outro rodeiro a ser trocado na mesma composição, o operador da linha atuará na IHM iniciando um novo processo de posicionamento, repetindo todo o ciclo descrito anteriormente.

O desbloqueio da locomotiva somente será efetuado quando o operador de linha iniciar um novo posicionamento.

Caso não haja mais rodeiros a serem trocados na composição, o operador finalizará por definitivo o processo na IHM (*checkout*). Após o "*checkout*" o sistema embarcado irá gerar um pedido de confirmação ao operador da linha. Confirmada a finalização (*checkout*) pelo operador de linha através da IHM, o sistema retira o bloqueio retornando a Locomotiva para o comando do Maquinista.

3 CONCLUSÃO

O sistema desenvolvido cumpriu seu papel executando o procedimento, pois foi possível o posicionamento automático do rodeiro sobre a "mesa falsa" (plataforma de troca de rodeiro) com a precisão de centímetros necessária e sem intervenção humana.

A exatidão do posicionamento foi possível devido a precisão na leitura do sinal pelo scanner laser, que sendo processado pelo sistema, consegue identificar os rodeiros, fazer a contagem dos mesmos e medir a velocidade da composição, e assim conseguir tomar decisões necessárias para que a composição pare no local desejado.

Durante todo processo de testes uma das maiores dificuldades foi entender a lógica para o controle da locomotiva, devido a sua inercia e as folgas entre os vagões. Uma outra dificuldade foi na visada do scanner laser já que esse dispositivo teve que ser posicionado muito próximo a linha férrea, assim não sendo possível "enxergar" uma grande parte da composição. As dificuldades mencionadas foram solucionadas com a criação de um modelo virtual no sistema, sendo o mesmo alimentado por informações do sensor, como a velocidade da composição.

O sistema possibilita ganhos significativos no tempo de troca de rodeiros, tendo em vista que o sistema posiciona a composição com precisão e sem retrabalhos, e proporciona um aumento da vida útil de componentes da composição, por diminuir os movimentos indesejados ocasionados pela tração e frenagem da composição.

É importante destacar também os ganhos com a diminuição da intervenção humana já que no procedimento manual os maquinistas necessitam ficar disponíveis para comandarem as locomotivas, o que gera um gargalo no processo. Já com o sistema automático a presença do maquinista pode ser dispensada.