



HMI do Maquinista

Mesa Interativa — CCTV, Iluminação e Informação ao Passageiro
Driver's-Desk Interactive Console — CCTV, Lighting Control & PIS

Cliente: Frotas Ferroviárias e Rodoviárias

Versão: v1.0

Data: Julho 2026

Conteúdo

1	Visão Geral	2
1.1	Intervenientes físicos	2
1.2	Três fluxos de operação	2
2	Arquitectura de Rede e Descoberta	2
3	Vídeo em Direto e CCTV	3
3.1	Tipos de câmara	3
3.2	Pipeline de vídeo	3
3.3	Motor de alertas	3
4	Controlo Luminotécnico	4
5	Informação ao Passageiro (PIS)	4
6	Segurança	4
7	Interface e Ergonomia	5
7.1	Modos de operação	5
7.2	Ecrã e ergonomia tátil	5
8	Especificações Técnicas	5
8.1	Métodos de implantação	6
9	Integração e Extensibilidade	6
9.1	Confirmação de composição (ferroviário)	6

1. Visão Geral

Overview

O **HMI do Maquinista** — também referido como **Mesa Interativa** — é uma aplicação embarcada de ecrã tátil que coloca num único painel, na cabine de condução, tudo o que o maquinista ou condutor precisa para vigiar e operar o veículo: **vídeo CCTV em direto de qualquer compartimento**, **controlo luminotécnico** do habitáculo e **informação ao passageiro (PIS)** em painéis de destino.

A aplicação corre de forma **totalmente autónoma na rede local do veículo** — não depende de ligação à internet nem de qualquer serviço cloud para operar. Todos os dispositivos comunicam através da rede Ethernet fechada de bordo.

1.1. Intervenientes físicos

Physical players

Dispositivo	Quantidade	Papel
Computador de compartimento	Um por compartimento/carruag	Corre servidor RTSP + API REST + mDNS + publicador MQTT
Câmara IP	Uma ou mais por compartimento	Fonte de vídeo bruto (CCTV ou espelho digital)
Mesa Interativa (HMI)	Uma por cabine	Ecrã tátil landscape — esta aplicação
Broker MQTT	Um, sempre ativo	Mosquitto — barramento de eventos e estado

1.2. Três fluxos de operação

Three operating flows

Fluxo	Descrição
Descoberta (mDNS)	A Mesa Interativa encontra os computadores de compartimento automaticamente, sem IPs fixos configurados
Eventos (MQTT)	Os computadores de compartimento publicam listas de câmaras, estado online/offline e alertas de IA
Vídeo (RTSPS + JWT + mTLS)	A Mesa Interativa pede um token de curta duração e abre um stream de vídeo cifrado e autenticado

Nota: A composição do veículo pode variar (compartimentos de autocarro, carruagens de comboio) sem necessidade de reconfiguração manual — a descoberta automática adapta-se à topologia presente na rede em cada arranque.

2. Arquitectura de Rede e Descoberta

Network architecture & discovery

Descoberta automática — mDNS

Serviço mDNS	_vehicle-hmi._tcp
Registos TXT	comp_id, comp_name, api_port, api_version, tls
Iluminação (LCU)	Descoberta mDNS dedicada, tipo de serviço configurável (_http._tcp por omissão)
Sem IPs fixos	Nenhum endereço de compartimento é codificado na aplicação

Cada compartimento — ou carruagem, no caso ferroviário — tem o seu próprio computador de bordo, que expõe simultaneamente o servidor de vídeo, a API REST de autenticação e o anúncio mDNS. A Mesa Interativa mantém um **registo dinâmico de compartimentos** que acompanha o estado online/offline em tempo real via MQTT retido, combinando o sinal de mDNS com o *Last Will and Testament* do broker para nunca mostrar um compartimento como disponível depois de ter caído.

O estado *offline* recebido por MQTT nunca é sobreposto pelo mDNS — apenas uma nova mensagem *online* explícita reabre o compartimento na interface. Isto evita falsos positivos de disponibilidade quando o mDNS local ainda vê o dispositivo mas o publicador MQTT já reportou falha.

3. Vídeo em Direto e CCTV

Live video & CCTV

A Mesa Interativa apresenta vídeo em direto de **qualquer câmara de qualquer compartimento** do veículo, organizado por grelha automática ou vista de mapa/planta.

3.1. Tipos de câmara

Camera types

Tipo	Propósito	Comportamento
cctv	Vigilância geral	Pipeline sob-procura (<i>on-demand</i>), pool com política LRU
e-mirror	Crítico de segurança — substitui espelho físico (UN Reg. 46)	Pipeline fixo sempre ativo, nunca despejado do pool; falha dispara aviso visível imediato

3.2. Pipeline de vídeo

Video pipeline

- **Transporte:** RTSPS (RTSP sobre TLS) com autenticação **mTLS** — certificado por dispositivo, emitido pela CA do veículo
- **Autorização:** token JWT de curta duração, pedido via `POST /api/v1/auth/stream-token`
- **Renovação:** automática aos 80% do tempo de vida do token (ex.: token de 300s renovado aos 240s)
- **Descodificação:** pipeline GStreamer com aceleração por GPU (sink OpenGL/EGL quando disponível)
- **Modos de navegação:** grelha automática (*AUTO*) e vista de planta/mapa do veículo (*MAP*), com barra de navegação por compartimento

3.3. Motor de alertas

Alert engine

Funcionalidade	Detalhe
Ingestão	Eventos de deteção de IA por compartimento, com severidade
Ranking	Classificação por severidade, consulta <i>top-N</i> global ou por compartimento
Decaimento	Configurável (60s por omissão) — alertas antigos deixam de contar para os indicadores
Indicação visual	Pastilha de severidade nos separadores de modo, com pulsação para alertas críticos
Sobreposição de deteções	Caixas delimitadoras só para câmaras atualmente em ecrã, limitadas a 10 Hz

4. Controlo Luminotécnico

Lighting control

O separador de **Iluminação** liga-se diretamente às **LCU (Lighting Control Unit)** do veículo, descobertas automaticamente por mDNS, permitindo ao maquinista ajustar a luz do habitáculo sem sair do painel de operação.

Parâmetro	Controlo
Temperatura de cor (CCT)	Ajuste em Kelvin dentro do intervalo reportado pelo próprio dispositivo (tipicamente 1 800 K–4 000 K)
Intensidade	0–100%, com escrita direta ao dispositivo
Luz de leitura (RL)	Zona independente — ligar/desligar, intensidade e CCT próprios, ativada apenas quando o dispositivo confirma suporte
Confirmação por eixo	A interface só assume um valor como correto depois da primeira resposta válida do dispositivo para esse eixo

Nota: Cada eixo de controlo (intensidade, CCT, luz de leitura) tem o seu próprio estado de *dirty/pending*, para que um comando enviado pelo maquinista nunca seja sobreposto por uma resposta de polling desatualizada do dispositivo.

5. Informação ao Passageiro (PIS)

Passenger Information System

O separador **PIS** permite ao maquinista consultar e alterar a linha/destino apresentado nos painéis de informação ao passageiro do veículo, diretamente a partir da mesa interativa.

- **Base de dados de destinos:** carregada de ficheiro CSV, com pesquisa e filtragem por categoria (*bucket*)
- **Envio:** por painel individual ou **difusão** (*broadcast*) simultânea a todos os painéis da frota do veículo
- **Pré-visualização ao vivo:** pedido de *snapshot* do conteúdo atualmente exibido em cada painel
- **Estado da frota de painéis:** contagem online/total sempre visível
- **Importação:** deteção automática de ficheiros CSV/JSON em dispositivos USB ligados, para atualizar a base de destinos sem intervenção de rede
- **Confirmação de operação:** notificação toast com resultado do envio (ex. "Enviado a N/total")

6. Segurança

Security

Camada	Mecanismo
Transporte de vídeo	mTLS — certificados assinados pela CA do veículo (ca.crt, hmi.crt, hmi.key em /etc/vehicle/certs, permissões 640)
Autorização de stream	Token JWT de curta duração, pedido por câmara, renovação automática
Autenticação local	Desafio-resposta (<i>challenge-response</i>) por compartimento, com HMAC
Auditoria de segurança	Tópico MQTT retido dedicado ao estado do espelho digital (<i>e-mirror</i>) — falha e recuperação são ambas publicadas com retain=true, para que qualquer subscritor tardio veja sempre o estado atual
Configuração	Ficheiro /etc/vehicle/hmi/config.json, propriedade root, permissões 640

7. Interface e Ergonomia

User interface & ergonomics

7.1. Modos de operação

Operating modes

Separador	Conteúdo
CCTV	Grelha de câmaras de vigilância, modos AUTO/MAP
E-MIRROR	Vista dedicada ao espelho digital de segurança, sempre visível independentemente do separador ativo
LIGHTING	Controlo luminotécnico do habitáculo
DISPLAYS	Informação ao passageiro (PIS) — ativável/desativável por configuração

7.2. Ecrã e ergonomia tátil

Touchscreen & ergonomics

- Orientação **landscape**, resoluções nativas suportadas **1280×800** ou **1024×768**
- Arranque direto em modo quiosque — sem gestor de janelas, sem sessão X11/Wayland concorrente
- Controlo de brilho por tabela de gama via *libdrm*, com *dimming* automático por inatividade
- Painel de estado do sistema: CPU, memória, temperatura, sincronização NTP e interfaces de rede, sempre acessível

8. Especificações Técnicas

Technical specifications

Parâmetro	Valor
Linguagem / Language	C++20
Framework de interface	Qt6 (≥6.4) — Quick, QuickControls2, Multimedia
Motor de vídeo	GStreamer 1.x (gstreamer-app, gstreamer-video, gstreamer-gl)
Descoberta de rede	Avahi (mDNS/DNS-SD)
Mensageria	MQTT — libmosquitto
Sistema operativo alvo	Ubuntu 26.04 LTS, perfil servidor (sem GDM3/lightdm)
Hardware de referência	x86_64, Intel Alder Lake-N (GPU integrada UHD)
Compositor gráfico	KMS/DRM direto (eglfs), sem gestor de janelas
RAM mínima / Armazenamento	4 GB RAM / 16 GB
Rede	Ethernet cablada (câmaras e MQTT em LAN local)
Métodos de implantação	Contentor Docker ou serviço systemd nativo
Pegada em disco	~300 MB (nativo) a ~1,5 GB (imagem Docker)
Configuração	JSON declarativo, /etc/vehicle/hmi/config.json

8.1. Métodos de implantação

Deployment methods

Critério	Contentor Docker	systemd nativo
Reprodutibilidade	Alta — imagem hermética	Depende do estado do pacote no equipamento
Tempo de primeira instalação	~15 min	~5 min
Recomendado para	Unidades de produção, provisionamento CI	Desenvolvimento de bancada, unidades com armazenamento limitado

9. Integração e Extensibilidade

Integration & extensibility

A arquitectura de **compartimento** — um computador de bordo por zona, descoberto por mDNS e publicando por MQTT — é **agnóstica ao tipo de veículo**: a mesma Mesa Interativa serve tanto **autocarros** (zonas/compartimentos) como **comboios** (carruagens), sem alterações de código, apenas de configuração de rede.

9.1. Confirmação de composição (ferroviário)

Composition confirmation (rail)

Num contexto ferroviário, quando um serviço a montante infere automaticamente a composição do comboio (locomotiva + carruagens), a Mesa Interativa apresenta um **diálogo modal de confirmação** ao maquinista, que pode confirmar, corrigir a ordem/composição ou rejeitar a inferência antes de serviços a jusante (habilitação de portas, contagem de passageiros, informação de bordo) atuarem sobre essa composição. Esta confirmação é publicada por MQTT e só uma confirmação explícita do maquinista consolida a composição no sistema central.

Este HMI foi desenvolvido no âmbito do programa **PRR / RRstock** (WP5). A integração na mesa do maquinista foi **concluída e validada em ambiente de projeto**, incluindo testes com hardware de bordo ferroviário real (gateway de vídeo embarcado, câmaras interior e exterior por compartimento).