



Redes privadas para transporte e logística

Uma visão geral dos desafios, direcionadores de mercado, casos de uso e tendências para redes privadas no setor de transporte e logística.



Disruptive Analysis



Índice

Resumo	3
Definição do setor de transporte e logística.....	4
Principais desafios e direcionadores de mercado	5
Casos de uso de 4G/5G em logística e transporte	8
Por que implantar redes privadas?	16
Opções e tendências de espectro	19
Conclusão e futuros de longo prazo	22



Resumo

O setor de transporte e logística é um dos mais promissores para redes privadas emergentes LTE e 5G, bem como tecnologias adjacentes, como computação de borda e novas versões Wi-Fi6E/7.

Portos, aeroportos e armazéns/centros de atendimento estão entre os usuários mais avançados até agora, enquanto estações ferroviárias, grandes fabricantes de aviação/naval e outros também estão começando a demonstrar interesse. Agências rodoviárias, redes ferroviárias e sistemas de transporte municipal estão atrasados, embora demonstrem mais interesse em infraestrutura de host neutro, bem como em futuras versões especializadas do 5G destinadas à conectividade de veículo a veículo ou ferroviária de próxima geração.

Empresas e agências públicas nesse setor (amplo e diversificado) estão implantando muitos aplicativos com requisitos exigentes para conectividade sem fio em termos de largura de banda, latência previsível, segurança e tempo de atividade. Usos baseados em vídeo, como câmeras de segurança ou veículos dirigidos remotamente, podem ser importantes condutores 5G privados, especialmente onde as configurações externas não são adequadas para Wi-Fi.

Com locais bem definidos e um crescente ecossistema de fornecedores, os centros de transporte e os locais de logística estão rapidamente se tornando um alvo importante para fornecedores sem fio privados e integradores de soluções.

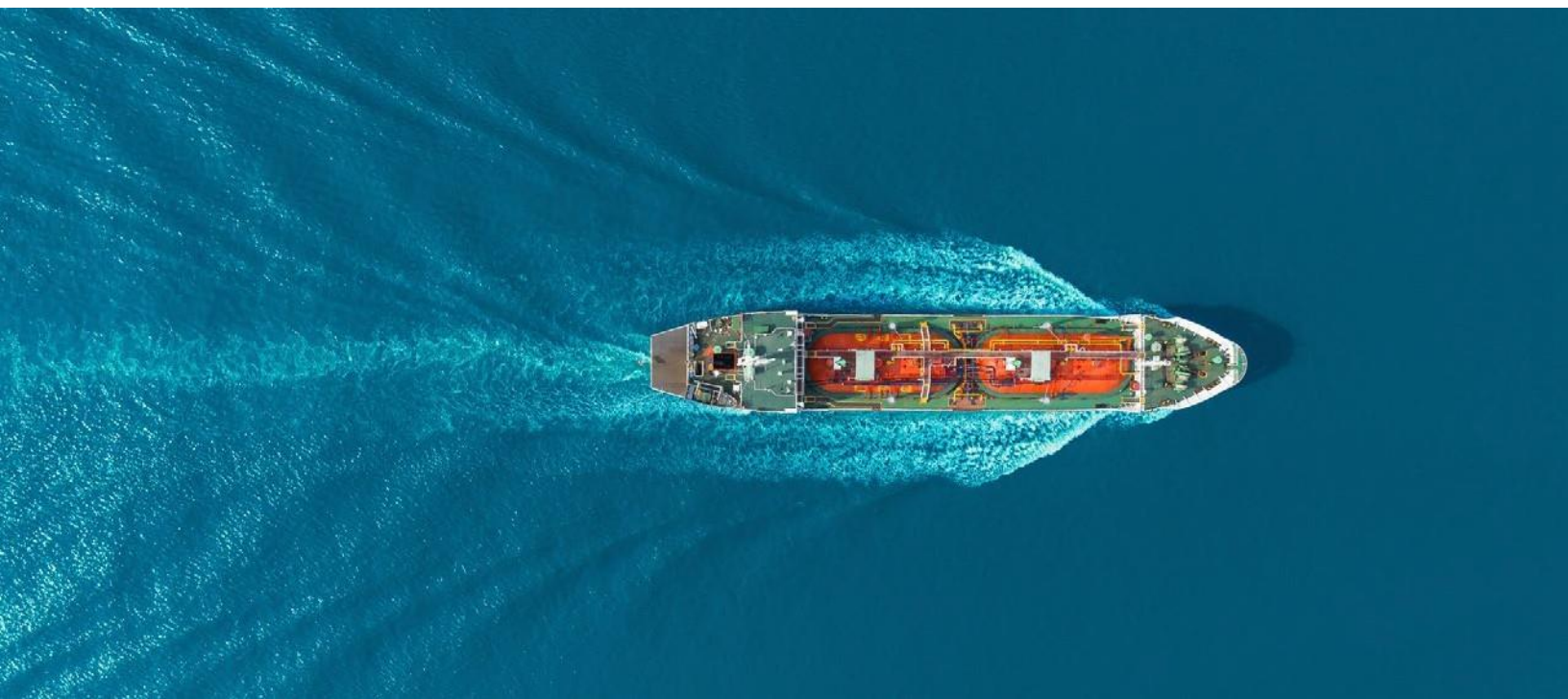
Ao contrário de muitos setores, as empresas e organizações de transporte há muito tempo possuem uma infraestrutura de rede sofisticada, geralmente integrada à IoT e a sistemas

de automação (“OT” ou “Tecnologia Operacional”), bem como necessidades mais convencionais de TI e telecomunicações. Como ferrovias, portos e aeroportos são partes de infraestruturas nacionais críticas, muitas vezes eles têm redes altamente resilientes, e muitas vezes tecnologias ou espectro dedicados para necessidades operacionais específicas.

À medida que todos esses setores se tornam mais automatizados e dependentes de dados, além de enfrentar desafios crescentes nos domínios de segurança física e cibernética, eles também desempenham um papel central nas mudanças atuais nas cadeias de suprimentos globais, como centros de distribuição de contêineres, produtos a granel e embalagens menores.

À medida que o celular 4G e 5G amadurece, ele está se “democratizando” além das MNOs tradicionais, por mudanças no espectro local e na disponibilidade de equipamentos. As redes privadas são agora uma realidade crescente.

Juntos, isso está criando uma combinação de oferta e demanda para redes móveis privadas, para comunicações no local para funcionários, sistemas de automação, veículos, sensores de IoT, câmeras e infraestrutura. Este e-Book descreve os principais casos de uso, cenários de implantação e caminhos para 4G e 5G privados nos setores de transporte e logística. Embora esse relatório se concentre principalmente nos aspectos de rádio, é importante reconhecer que o ecossistema mais amplo — de redes centrais a computação de borda/nuvem e sistemas de planejamento/projeto/teste — está evoluindo em conjunto, juntamente com um enorme ecossistema de integradores de sistemas e especialistas verticais.



Definição do setor de transporte e logística



Há vários subsetores de transporte e logística e tipos de locais abordados nesse e-Book. Embora existam alguns recursos comuns e direcionadores de mercado, também há diferenças claras no tamanho físico e no layout dos locais, bem como em equipamentos e plataformas de aplicativos, tecnologias sem fio herdadas/alternativas, supervisão regulatória e conservadorismo tecnológico.

Os principais domínios abordados nesse e-Book incluem:

- **Hubs de transporte**, que se refere a locais como portos, aeroportos, estações e pátios ferroviários.
- **Logística**, que se refere às instalações centralizadas para envio, armazenamento e classificação de contêineres e pacotes, como armazéns e centros de atendimento/distribuição.
- **Redes de transporte**, incluindo redes ferroviárias, sistemas de trânsito metropolitano e de veículos leves sobre trilhos e redes rodoviárias.

Muitas vezes, também existem locais híbridos, como os enormes locais de centro de logística da FedEx próximos aos aeroportos de Memphis e Indianápolis.

Há também alguma sobreposição com vários outros setores, como as principais fábricas. Por exemplo, a fabricação e manutenção aeroespacial normalmente ocorrem em fábricas/aeródromos combinados, como as instalações da Boeing e da Airbus. Operações combinadas semelhantes ocorrem na construção naval e na produção de trens. Empresas de mineração, siderurgia e cimento podem até ter suas próprias linhas

ferroviárias privadas, de locais remotos ou zonas industriais a centros de trânsito multimodais em portos ou cidades.

Para locais de logística, deve-se observar que muitos proprietários de instalações também possuem grandes redes de varejo (como Costco e Walmart) ou outros locais, como os datacenters AWS da Amazon. Essas operações auxiliares e suas aplicações específicas não estão diretamente incluídas nesse artigo.



Principais desafios e direcionadores de mercado

A demanda por redes privadas para o setor de transporte e logística é, em última análise, impulsionada por uma série de mudanças nacionais e globais de alto nível, além de certos fatores locais, como apoio político a “portos francos” ou zonas empresariais, ou esforços para modernizar redes ferroviárias.

De um modo geral, tudo isso cria uma maior necessidade de conectividade, controle e fluxos de informação – o que se traduz em mais redes 4G e 5G, bem como serviços de rede Wi-Fi, fibra e de longa distância.

Algumas das principais “megatendências” para logística e transporte incluem:

- **Automação e robótica:** conforme discutido ao longo desse e-Book, centros de transporte e armazéns estão se tornando muito mais automatizados. Embora guindastes portuários, sistemas de manuseio de bagagem e veículos guiados automaticamente não sejam novos, eles estão sendo aprimorados rapidamente. Em particular, robôs e sistemas automatizados estão usando câmeras de vídeo sem fio para detectar pacotes, permitindo o controle remoto e muitos outros usos.
- **Dados e análises:** as empresas de transporte e logística estão na vanguarda de aplicativos ricos em dados, desde gêmeos digitais de motores a jato e locomotivas ferroviárias até agendamento otimizado e embalagem de mercadorias em armazéns de atendimento. Equipamentos melhor conectados, sensores de IoT e entrada de vídeo podem melhorar os tempos de entrega, reduzir erros de envio, reduzir o consumo de energia e muito mais. Transporte realizado por passageiros deve enfrentar menos atrasos, multidões mais dispersas e melhor atendimento ao cliente.
- **Manutenção preditiva e gerenciamento de ativos:** os sistemas de transporte são intensivos em capital. O custo do tempo de inatividade de um veículo — ou sistema crítico em um armazém ou terminal de

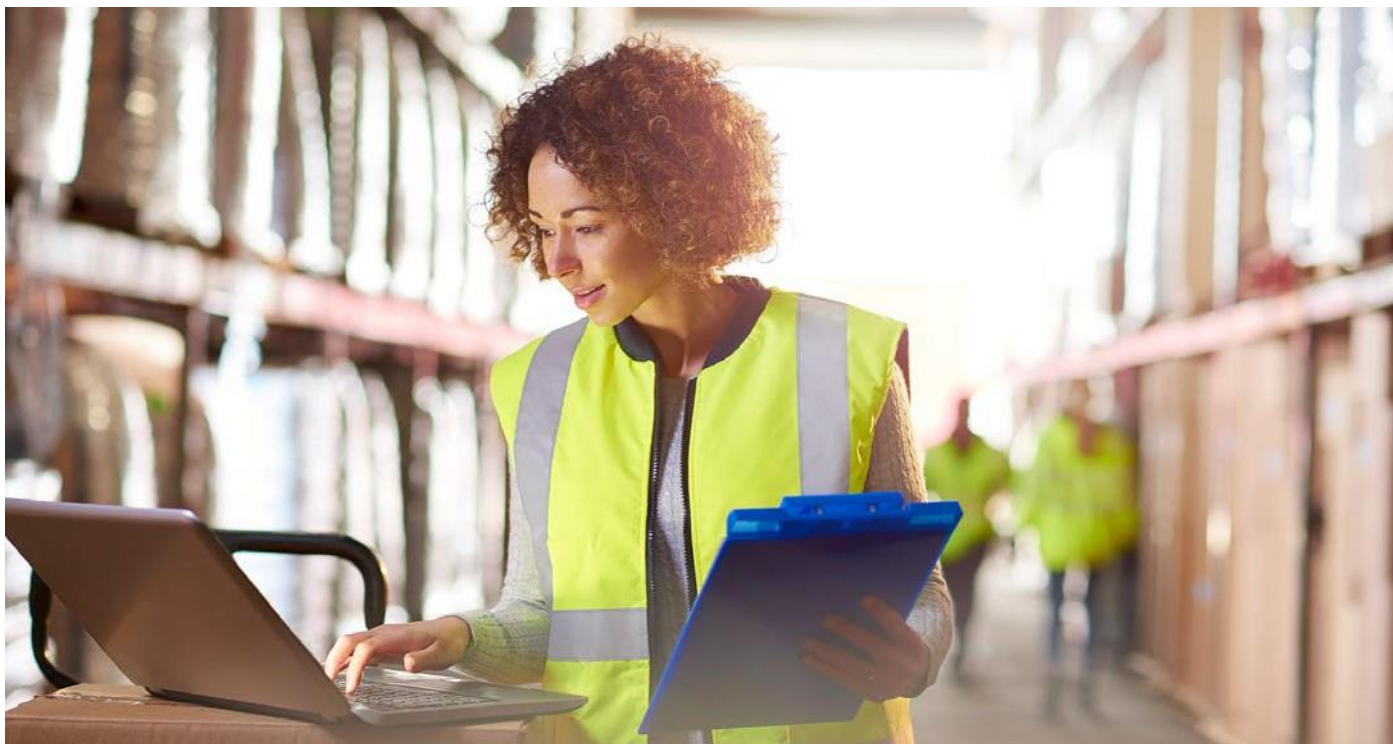




aeroporto — pode ser enorme. Há uma grande oportunidade de usar informações e sensores em rede para permitir a “manutenção preditiva” — corrigindo problemas emergentes antes que se tornem críticos, ou agendando manutenção regular quando necessário, em vez de apenas com base em um cronograma genérico. Por exemplo, adicionar sensores de vibração e temperatura pode fornecer “alertas antecipados” de problemas, quando leituras anômalas são vistas. Há também benefícios óbvios de segurança em áreas como aviação e diagnóstico de falhas marítimas.

- Ĉ
Maior segurança e produtividade dos funcionários: há muito menos tolerância a acidentes industriais do que no passado. Usando automação e melhores informações, as empresas de transporte e logística buscam aumentar a produtividade do trabalhador ao mesmo tempo em que melhoram a segurança. Isso abrange muitos aspectos, desde a garantia de distâncias seguras entre trabalhadores e veículos até a reação rápida a qualquer incidente, além de melhor manutenção de registros e treinamento. A comunicação confiável é essencial, usando a voz (geralmente push-to-talk) e uma necessidade crescente de comunicações por vídeo e acesso móvel a aplicativos corporativos.
- Ĉ
Mudanças climáticas e descarbonização: na próxima década, muitas empresas de transporte e logística enfrentarão mudanças profundas à medida que o planeta se dirige para emissões líquidas zero de carbono. Portos, aeroportos, centros de distribuição e outros locais provavelmente precisarão de novas fontes elétricas, como eólica e solar, armazenamento de baterias no local, talvez instalações de hidrogênio e frotas de veículos e máquinas elétricos (geralmente autônomos). Conectividade será necessária para tudo isso, além de monitoramento, controle, coleta de dados e relatórios de uso de energia.
- Ĉ
Geopolítica, “reshoring” e resiliência da cadeia de suprimentos: eventos recentes, como a guerra comercial EUA-China, a pandemia de Covid e a guerra Rússia/Ucrânia, destacaram os riscos das cadeias de suprimentos globais (e muitas vezes frágeis) para eventos externos perturbadores. Assim como a produção localizada, o envio e a logística precisarão ser muito mais eficientes, automatizados e conectados para redirecionar os envios, armazenar o estoque e lidar com a nova papelada e os requisitos de conformidade.
- Ĉ
Segurança cibernética: centros de transporte e armazéns fazem parte da infraestrutura crítica nacional. O aumento da automação e das funções baseadas em nuvem apresenta desafios de segurança, bem como ganhos de eficiência. Sistemas operacionais, de rede e de TI antigos serão fortalecidos ou desativados se tiverem vulnerabilidades, enquanto as redes precisarão de resiliência e redundância extras. As redes sem fio podem ser usadas como backups em caso de falha de fibra ou outros links.





Combinados, todos esses fatores amplos, bem como as tendências específicas da empresa ou do país, estão se combinando para significar que as redes precisam ser:

- ê De alta capacidade e baixa latência
- ê Sem fio sempre que possível, para permitir mobilidade (por exemplo, AGVs) e acesso a locais onde a instalação de fibra é impraticável.
- ê Padronizadas sempre que possível, com uma cadeia de suprimentos diversificada e conjuntos de habilidades amplamente difundidos.
- ê Interoperáveis na camada de rede e para protocolos de mensagens entre diferentes sistemas e parceiros.
- ê Disponíveis de forma ubíqua, como serviço ou de propriedade privada.
- ê Seguras e resilientes, especialmente em domínios sensíveis de “infraestrutura crítica”, como aeroportos e ferrovias.
- ê Adequadas tanto para locais grandes, como portos importantes, quanto para locais menores, como estações ferroviárias. Em alguns casos, elas podem precisar expandir para redes rodoviárias e ferroviárias nacionais.
- ê De custos mais baixos (ou pelo menos previsíveis) por local ou dispositivo.

Também é necessário que novos sistemas de rede (como 5G ou Wi-Fi6/6E) se integrem aos tipos de conectividade existentes. Isso abrange muitos tipos diferentes de rede, tanto com fio quanto sem fio. Muitos dos recursos mais “Indústria 4.0” do 5G só estarão disponíveis no futuro, com

versões 16/17/18 posteriores do 3GPP. Isso significa que muitas vezes várias tecnologias serão usadas em combinação, com uma variedade de abordagens de integração ou gateway necessárias. Upgrades e atualizações contínuos são prováveis, bem como a adição de novos casos de uso.

(Além disso, fora do escopo desse documento, há uma grande quantidade de mudanças adicionais ocorrendo com gerenciamento e controle de rede, incluindo sistemas operacionais e redes centrais baseados em nuvem e computação de borda).





Casos de uso de 4G/5G em logística e transporte

Dada a estrutura do setor e as mudanças descritas acima, há duas camadas de questões a serem abordadas nesse relatório:

- ❗ Quais casos de uso são adequados para conectividade celular 4G e 5G?
- ❗ Quando uma rede 4G/5G privada é mais apropriada do que um serviço de rede pública de uma MNO/operadora? [Observação: algumas empresas de telecomunicações agora oferecem redes totalmente "privadas" para seus clientes corporativos]

Esta seção destaca alguns dos casos de uso emergentes que podem se beneficiar da conectividade de celulares nos setores de logística e transporte, especialmente para armazéns e centros de atendimento, portos e aeroportos, que provavelmente são os maiores clientes de 4G/5G privado no momento.

Outros setores, como redes e estações ferroviárias, geralmente têm sistemas de cobertura celular ou infraestrutura de host neutro para acesso a redes móveis públicas, mas sistemas privados dedicados são raros, além das redes ferroviárias GSM-R existentes para comunicações operacionais críticas.

(Futuras variantes 5G, como FRMCS, mudarão isso, mas ainda estão a anos de distância).

Embora existam provavelmente centenas de aplicativos em geral — e alguns, como TI de escritório em geral, foram omitidos para concisão —, os itens a seguir são típicos das aspirações de muitas empresas nesses setores.

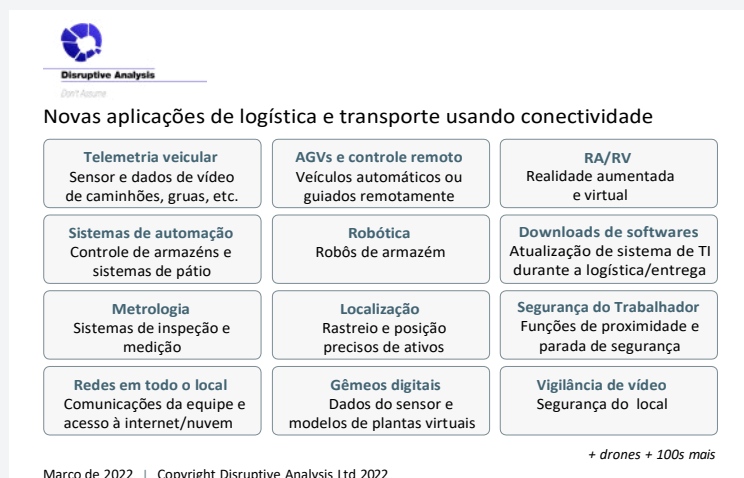
Telemetria de veículos e monitoramento de condições

Os veículos de transporte e logística modernos geram enormes volumes de dados, desde motores, baterias, transmissões, rodas, sistemas hidráulicos e sensores externos de temperatura, vibração e muitas outras variáveis. Isso se aplica igualmente a guindastes de cais, navios porta-contêineres e de passageiros, locomotivas, caminhões e especialmente aeronaves.

Os dados são utilizados para várias finalidades, desde a manutenção preventiva (identificando problemas incipientes antes de ocorrer dano), a manutenção de registros obrigatórios.

Alguns dados são usados imediatamente por motivos operacionais, enquanto outros são usados para otimizar o desempenho, reduzir o consumo de energia, melhorar as práticas de manutenção e alimentar os “gêmeos digitais” (veja mais adiante).

Trens e aeronaves podem precisar de upload rápido de dados de telemetria em “lote” quando param em uma estação ou param em um terminal de aeroporto, talvez apenas por alguns minutos de cada vez. Potencialmente, gigabytes ou terabytes podem precisar ser transferidos em um curto período não interrompido por congestionamento de Wi-Fi ou contenção para uso de redes celulares públicas.



Embora alguns dados de telemetria precisem transitar por redes móveis ou de satélite 4G/5G públicas — por exemplo, caminhões na estrada ou navios no oceano — uma grande quantidade será gerada ou enviada “no campus” em portos, aeroportos, centros de logística e outros ambientes de propriedade privada. A utilização do 5G privado será um importante facilitador para esse tipo de aplicação.

Veículos automatizados ou guiados remotamente (AGVs e teleoperação)

Vários tipos de veículos móveis no local e localizados, e sistemas de manuseio de materiais são usados para mover contêineres, pacotes ou materiais, seja dentro de armazéns ou em locais maiores, como portos. Dentro de edificações, veículos guiados automaticamente ou AGVs geralmente seguem caminhos específicos e se movem bem devagar por questões de segurança, separados dos trabalhadores humanos. Para áreas externas maiores, como portos de contêineres, são usadas unidades móveis muito maiores. Os guindastes-pórticos montados sobre trilhos (RMG) movem-se ao longo do cais nos trilhos, enquanto os carros-pórticos ou guindastes-pórticos com pneus de borracha (RTG) têm uma maior amplitude de movimento ao redor dos pátios de contêineres.

Há uma mudança significativa rumo ao controle remoto ou automação total de AGVs e guindastes. Isso reduz os riscos de fadiga do trabalhador, elimina os riscos de segurança e facilita os desafios de recrutamento. Eles usam câmeras conectadas (às vezes dez ou mais) além de outros sensores, como LiDAR, para analisar seus arredores, especialmente para uso seguro dentro dos mesmos espaços dos operadores humanos.

No futuro, os aeroportos provavelmente também verão mais uso de rebocadores automatizados, tratores de carga e carrinhos de bagagem — alguns já sob controle remoto por operadores humanos na rampa. Com câmeras de alta definição, além de redes suficientemente capazes, deve ser possível usar uma torre de controle centralizada para teleoperações de um grande porto ou aeroporto.

O 5G é uma opção de conectividade ideal para isso, suportando upload confiável e de alta capacidade de vídeo e downlink de baixa latência para sinais de controle em áreas amplas, especialmente porque a densidade das câmeras e a altura de alguns guindastes é um desafio para a cobertura de Wi-Fi. A capacidade futura de URLLC (Ultra Reliable Low Latency) permitirá uma integração e supervisão mais rígidas entre nuvem e computação de borda, bem como interações conduzidas com precisão com outras máquinas, como esteiras transportadoras, sistemas de elevação ou estações/pontos de carregamento elétrico.

A importância crítica e as implicações de segurança de tais veículos provavelmente significarão que as redes devem ter cobertura redundante e sobreposta, com cada unidade tendo boa conectividade com duas ou mais células.

Processos e treinamento de RA/RV

Certos locais de transporte e logística são os primeiros a adotar a tecnologia de realidade aumentada e virtual — um campo que também começa a ser incluído no termo “metaverso”. Os headsets e óculos de RA permitem que a equipe trabalhe com as mãos livres em tarefas complexas, como carregar veículos ou selecionar os produtos certos nas prateleiras do armazém. Eles podem ver os dados de identificação do envio ou ver as instruções de manutenção exibidas em seus campos de visão ou consultar especialistas remotos.

Além das operações de campo, os aplicativos de XR são úteis para tarefas de “back office”, como desenvolvimento de produtos e treinamento. Os designers podem usar a realidade virtual para visualizar novos interiores de aeronaves ou trens. As simulações podem identificar o comportamento de passageiros ou funcionários em novos terminais aeroportuários ou estações ferroviárias. Uma ampla variedade de tarefas de treinamento pode se beneficiar das técnicas RA/RV.

Embora conexões Wi-Fi e com fio tendam a predominar para RA/RV hoje, a conectividade 4G e 5G está se tornando importante para cenários externos ou certas aplicações especializadas. Conectividade via celular — assim como Wi-Fi6/6E — também pode permitir streaming de RA em tempo real com



algumas tarefas gráficas transferidas para recursos de computação de borda. Isso reduz o poder de processamento necessário no próprio headset ou tablet, prolongando a vida útil da bateria ou reduzindo o peso necessário. A transmissão de dados táteis (toque/sentido) também precisa de baixas latências e altas velocidades de transferência.

Embora poucos headsets de XR integrem chipsets 5G atualmente, eles podem ser conectados a um modem de celular ou gateway móvel. Projetos futuros podem incluir opções de celular, especialmente para uso corporativo.

Sistemas de automação

Além de veículos e robôs em movimento, a base de muitas instalações de logística — especialmente para armazéns e centros de atendimento — é a automação. Eles têm matrizes extremamente complexas de esteiras transportadoras, sistemas de classificação, caixas de coleta e outros elementos. Sistemas automatizados semelhantes funcionam em zonas de manuseio de bagagem em aeroportos ou em algumas áreas de portos e redes ferroviárias.

Esses sistemas exigem várias camadas de computação e comunicação aqui, desde o controle de máquinas individuais usando PLCs (controladores lógicos programáveis) até câmeras e sensores de peso para identificar envios específicos ou classificá-los por tipo.

Tudo isso requer conectividade, com requisitos de confiabilidade extremamente altos, bem como necessidades de latência baixas e muitas vezes determinísticas — ou seja, previsíveis.

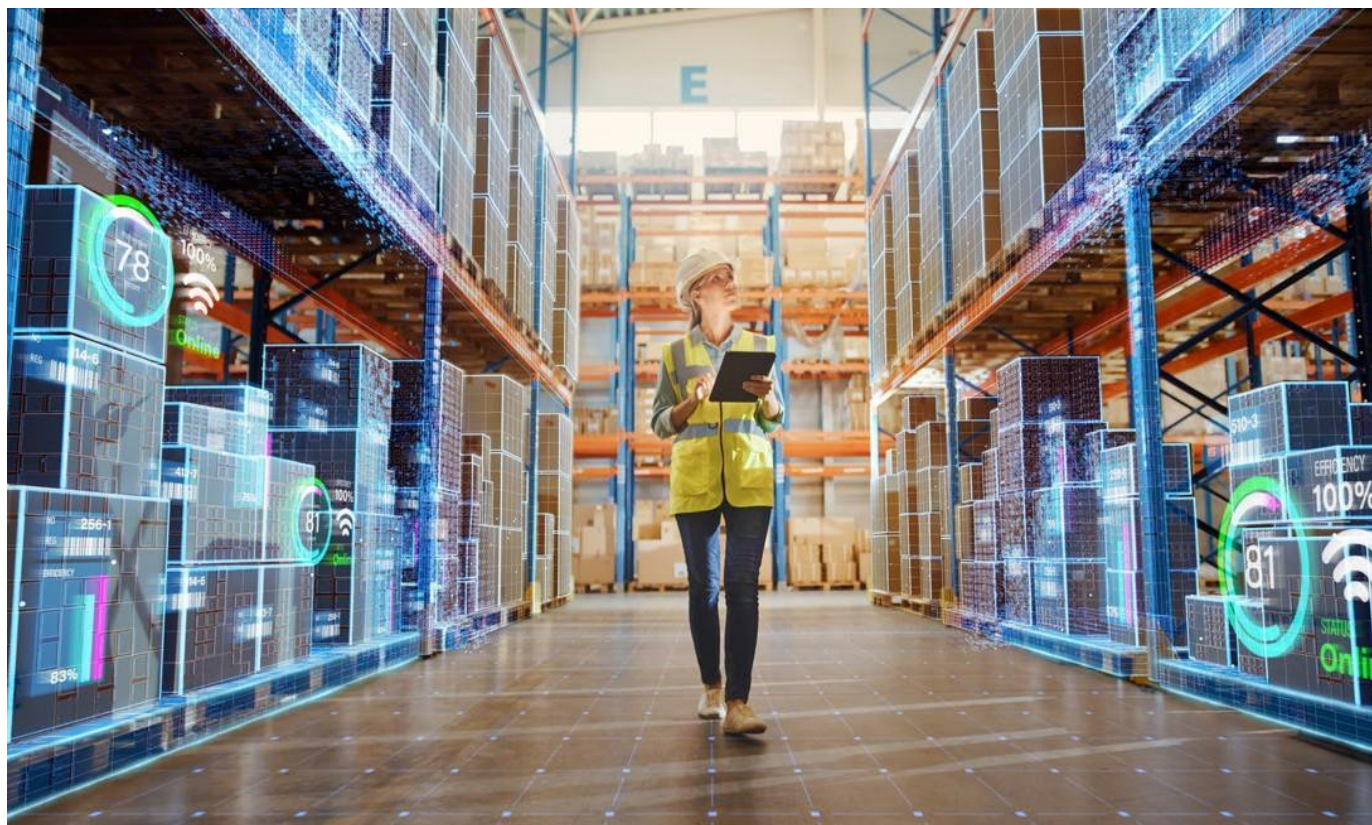
Embora fibra, Wi-Fi e várias soluções sem fio próprias tenham sido amplamente utilizadas no passado, o 5G oferece potencial para maior flexibilidade e/ou custos mais baixos no futuro. Também pode ter um desempenho melhor em ambientes com quilômetros de metalurgia e ruído eletromecânico.

Dito isso, armazéns ou portos “apenas 5G” são altamente improváveis. A maioria dos fornecedores de sistemas de automação trabalha com vários tipos de rede, integrando a mais adequada para cada máquina e aplicação.

Conectividade de locatário e passageiro

As empresas de transporte e logística podem ter até três “públicos” separados para conectividade:

- Seus próprios funcionários, sistemas e máquinas.
- Público em geral, especialmente passageiros.
- Outros locatários comerciais, como varejistas em estações de trem, empresas de transporte ou seguros em portos, companhias aéreas e fornecedores em aeroportos e assim por diante.



As duas segundas categorias essencialmente transformam os proprietários dos locais em operadoras de redes “semipúblicas”. Eles precisam fornecer acesso local a operadoras móveis 4G/5G nacionais ou talvez integrar esses grupos a uma rede de celular privada como algum tipo de serviço gerenciado. Muitos também usarão Wi-Fi.

Alguns locais, como armazéns, podem ser mais simples, sem a necessidade de lidar com grupos de terceiros.

Os casos de uso para 4G/5G de “locatário e passageiro” incluirão o uso típico de smartphone do consumidor ou aplicativos de negócios usados em setores relacionados, como varejo ou hotelaria.

Há um amplo conjunto de opções de tecnologia para cobertura interna/no campus e fornecimento de serviços sem fio de “host neutro” para MNOs. A cobertura móvel em navios e aeronaves em mares internacionais ou espaço aéreo traz seus próprios desafios para networking, que estão fora do escopo desse e-Book.

Robótica

Os robôs — tanto “braços” fixos quanto unidades móveis — estão sendo adotados em todo o setor de transporte e logística. Dependendo das definições, algumas delas se sobrepõem a outras categorias, como AGVs (veículos guiados automaticamente). As tendências incluem:

- A “democratização” de robôs em mais setores da indústria, à medida que os custos caem e a necessidade de automação aumenta.
- A escassez de pessoal em muitas funções — especialmente naquelas que exigem trabalho repetitivo e enfadonho, ou operações em ambientes perigosos ou insalubres — está impulsionando a adoção de robôs.
- Os robôs industriais estão se tornando mais interconectados e instrumentados, com sensores, câmeras e sistemas de feedback adicionais, além de grandes feeds de dados/telemetria. Isso requer conectividade em tempo real.
- Relevância crescente de “cobots” ou robôs cooperativos, que trabalham em conjunto com operadores humanos.
- Desenvolvimento contínuo de “robótica em nuvem”, para reduzir a necessidade de detecção e computação integradas e caras em cada robô.

Armazéns e centros de atendimento estão se tornando especialmente automatizados. Por

exemplo, no e-commerce e na entrega para o consumidor, vários itens precisam ser “escolhidos” e combinados em pacotes mistos para envio. Alguns locais usam prateleiras e corredores tradicionais com paletes ou caixas grandes empilhados, enquanto outros têm “caixotes” de produtos menores que podem ser selecionados individualmente por cima com um robô.

Envios e entregas também devem ser carregados e descarregados de caminhões e contêineres — uma tarefa complexa devido à variação de tamanhos, pesos e fragilidades, além da necessidade de os motoristas de entrega final conseguirem extrair pacotes individuais em cada parada do endereço.

Portos e aeroportos também estão adotando uma ampla gama de sistemas robóticos, tanto para interagir com os passageiros nos terminais, quanto para lidar com funções operacionais. Os casos de uso incluem:

- Robôs de atendimento ao passageiro que podem interagir em vários idiomas, fornecer informações sobre voos e portões, orientar as pessoas no aeroporto até os balcões de atendimento, auxiliar no despacho de bagagem e assim por diante.
- Balcões de check-in móveis capazes de se deslocar automaticamente para áreas congestionadas, para reduzir os tempos de fila.
- Robôs de limpeza
- Sistemas de carga e descarga de bagagens e contentores de carga



Tudo isso está impulsionando a necessidade de mais (e melhor) conectividade sem fio para robótica. Novamente, o 5G é visto como um facilitador importante em muitos casos. Baixa latência e alta confiabilidade são essenciais para evitar colisões ou permitir o controle remoto em caso de problemas. Armazéns individuais podem ter milhares de robôs individuais, variando em instalações muito grandes, incluindo áreas externas.

Além disso, os recursos aprimorados de localização ou posicionamento do 5G são muito importantes nas configurações do armazém e também permitem que a detecção de proximidade entre humanos e robôs móveis seja mais precisa. O Wi-Fi também continua sendo importante — e versões posteriores, como o Wi-Fi6E e o futuro Wi-Fi7, ajudarão —, mas pode sofrer congestionamentos ou interferências em áreas com muita metalurgia.

Downloads de software em massa

Um novo caso de uso do 4G/5G em configurações de logística é o gerenciamento de downloads de software para produtos na cadeia de suprimentos. Em particular, carros e outros veículos podem receber instalações de software personalizadas (ou atualizações) relevantes para determinados países na chegada. Por exemplo, é comum ter enormes instalações de armazenamento de veículos ao longo dos portos de embarque, talvez com milhares de carros aguardando a entrega.

Os veículos modernos — assim como outros produtos, como equipamentos industriais e eletrônicos de consumo — podem ter muitos gigabytes de software embutidos em seus sistemas de controle. Ser capaz de baixar atualizações “no campo” é extremamente útil. No entanto, isso pode exigir capacidade de rede significativa, geralmente em áreas externas com cobertura de rede pública limitada. A segurança do ferro fundido também é importante.

As redes privadas de 4G/5G oferecem um mecanismo para esse tipo de aplicação, especialmente porque os veículos normalmente possuem modems embutidos e uma fonte de energia. Além dos carros, uma abordagem semelhante pode ser usada em outros contextos de transporte, como uploads de conteúdo para sistemas de entretenimento de aeronaves ou “malas digitais” dos pilotos.

Metrologia

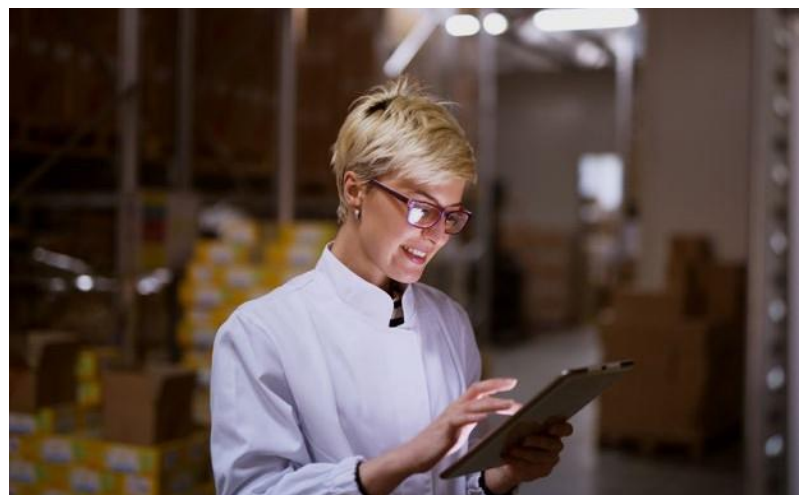
A Metrologia significa “o estudo da medição”. É um termo amplo que abrange uma grande variedade de atividades e sistemas. No entanto, em ambientes industriais, como transporte, logística e engenharia, muitas vezes representa o uso de câmeras ou lasers para medir (ou inspecionar) objetos.

No contexto desse e-Book, os exemplos mais importantes de metrologia estão nas operações de produção e manutenção de aeronaves, trens e outros veículos que requerem engenharia de precisão para fins de confiabilidade e segurança.

Por exemplo, as aeronaves e seus motores realizam inspeções regulares em busca de pequenas rachaduras ou outros sinais de possível falha. Isso geralmente ocorre nos grandes hangares vistos nos principais aeroportos. Navios, locomotivas, caminhões, ônibus e outros veículos também possuem rigorosos regimes de manutenção.

Outra área da metrologia é a logística e o armazenamento — seja para verificações de qualidade pré-envio, medição do tamanho da embalagem para carregamento eficiente ou casos de uso especializados, como mapeamento de temperatura para produtos farmacêuticos e alimentos armazenados.

Alguns dispositivos de medição podem fazer milhões de leituras por segundo, gerando terabytes de dados por dia. Isso é um acréscimo aos feeds de vídeo “normais” para fins semelhantes. Esses dados podem explorar abordagens aprimoradas por IA, analisar padrões ou detectar falhas que podem não ser visíveis ao olho humano. Os sistemas de visão de máquina no próprio local ou em outro local de computação de borda podem analisar esses dados, idealmente em tempo real.



Embora alguns sistemas de metrologia sejam conectados a outras unidades, também há necessidade de portabilidade e mobilidade. Cada vez mais, esses equipamentos usam redes sem fio com alto desempenho e taxa de transferência — especialmente quando usados em combinação com robótica ou drones. É provável que o 5G desempenhe um papel importante em algumas configurações, especialmente em locais difíceis de conectar com fibra.

Localização e posicionamento precisos de ativos

Há inúmeras finalidades para localização e posicionamento de ativos em tempo real em ambientes de logística e transporte. Robôs e AGVs precisam localizar prateleiras ou caixas de armazenamento específicas. Eles também precisam se encaixar com precisão nas estações de carregamento, registrar com precisão a localização de quaisquer falhas e garantir distâncias seguras dos trabalhadores humanos.

Por exemplo, ativos aeroportuários, como caixotes de alumínio, carrinhos de bagagem e calços de roda, precisam ser rastreados e localizados, bem como outros ativos, como carrinhos de bagagem, que são frequentemente movimentados.

Requisitos semelhantes ocorrem em estações ferroviárias, portos, centros logísticos e outros locais semelhantes.

O posicionamento preciso pode melhorar a produtividade e a utilização de ativos, bem como reduzir os riscos de roubo por “geofencing” dentro de limites especificados. As tecnologias de rastreamento também contribuem para a manutenção preventiva, garantindo que os itens sejam armazenados nos locais corretos.

Já é possível usar uma variedade de tecnologias sem fio (incluindo implantações privadas de 4G NB-IoT) para rastreamento de ativos, mas o posicionamento em tempo real, especialmente em ambientes fechados, é difícil.

Versões posteriores do 5G, especialmente a versão 17 em diante do 3GPP, permitirão rastreamento de localização altamente preciso, até o posicionamento em escala de centímetros. Em uma rede privada bem projetada, isso teria vários casos de uso em hangares e terminais de aviação, centros de atendimento e outros locais. A ligação de redes públicas e privadas também pode permitir que os passageiros rastreiem suas malas ou que indivíduos e empresas localizem remessas e entregas de pacotes.

Sistemas de segurança do trabalhador

Uma aplicação importante para redes privadas em transporte, logística ou outras configurações industriais é permitir que as empresas mantenham a segurança do trabalhador de forma mais eficaz. Isso é importante para reputação, conformidade, responsabilidade e outros motivos. Há uma série de elementos aqui que exigem boa conectividade:

- ❖ Câmeras de vídeo e análises usadas para garantir a conformidade com as regras de segurança (por exemplo, uso de capacetes de segurança e jaquetas de alta visibilidade) ou para observar ativamente situações perigosas.
- ❖ Sistemas de alerta de proximidade e cercas virtuais, que podem manter robôs ou veículos autônomos longe de trabalhadores humanos.
- ❖ Monitoramento em tempo real da saúde dos trabalhadores (monitoramento da frequência cardíaca, detecção de queda, etc.), especialmente nas partes mais perigosas de um local (por exemplo, pátios ferroviários ou depósitos de combustível) ou para trabalhadores individuais.
- ❖ Botões de parada de segurança confiáveis, conectados sem fio — usados para interromper sistemas automatizados se um trabalhador estiver em perigo.

Dependendo do local específico, essas funções podem ser necessárias dentro de edifícios, como armazéns, e fora de uma doca ou rampa de aeroporto, e até mesmo em áreas subterrâneas ou dentro de veículos.



“Roupas de trabalho inteligentes”, como capacetes ou jaquetas, agora podem ser obtidas com rádios celulares integrados.

O 4G/5G privado permite conectividade confiável, com cobertura personalizada e garantia de tempo de atividade que seria difícil de obter em redes públicas e em locais difíceis de alcançar com Wi-Fi.

Redes em todo o local e comunicações da força de trabalho

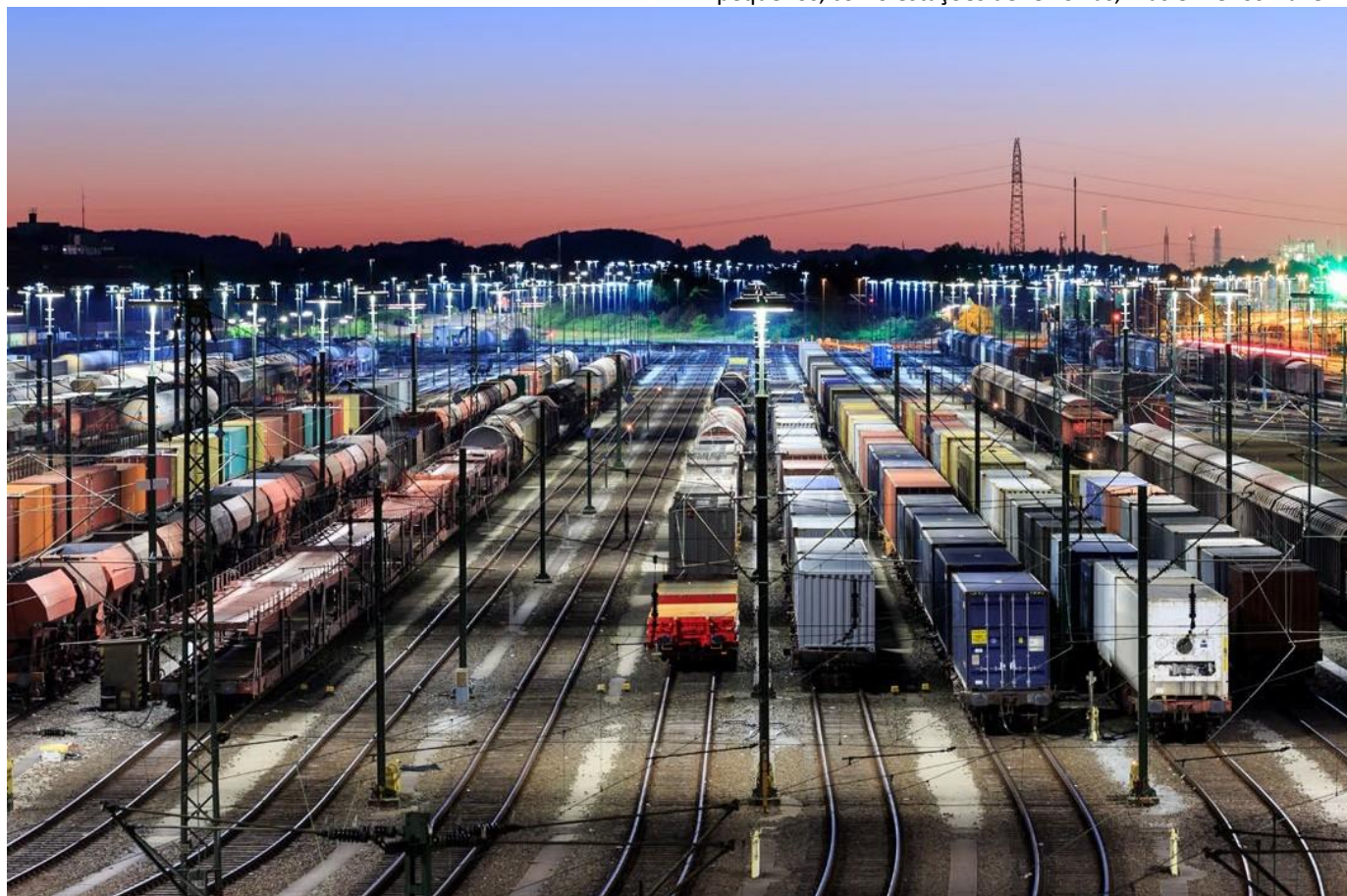
Portos, aeroportos e centros logísticos abrangem áreas que podem ter até 10 km de extensão. Muitos deles têm suas próprias redes rodoviárias, bem como áreas abertas que podem se estender por longas distâncias em pistas ou orlas. Certos setores de transporte, como ferrovias e redes rodoviárias, obviamente abrangem distâncias ainda maiores. Funcionários, ativos e veículos podem estar distantes do centro de operações e precisam ser contatáveis e controlados em tempo real.

Para tais locais, é essencial ter redes em todo o local (ou “campus”), cobrindo áreas externas e internas. Muitas vezes, parte ou todo o local tem uma cobertura ruim de redes móveis públicas.

Conectividade confiável em todo o local é necessária para vários aplicativos e funções de serviço, como:

- Monitoramento/localização de ativos.
- “Consciência situacional” de questões ambientais, como estado do tempo.
- Controle de veículos em todo o local.
- Câmeras de segurança e vigilância, sistemas de detecção de intrusão, alarmes, etc.
- Conectividade geral de TI, internet e nuvem para dispositivos portáteis e smartphones dos funcionários no local.
- Comunicações críticas da força de trabalho, como voz ou vídeo push-to-talk (PTT), sistemas de alerta e várias formas de colaboração e “comunicações unificadas”.
- Gateways e hubs usados para conectar clusters de câmeras, sensores e outros dispositivos.
- Coordenação localizada entre várias organizações, como tripulação de conexão, empresas de combustível, carregadores de bagagem, fornecedores e agentes de limpeza que estão “entregando” uma aeronave em 20 a 30 minutos.

As redes celulares 4G/5G são mais flexíveis do que os rádios VHF tradicionais em todo o local ou sistemas PMR (rádio móvel privado) — e oferecem suporte a aplicativos de dados com capacidade muito maior. O Wi-Fi pode ser usado para locais pequenos, como estações de ferrovias, mas é menos viável



para instalações maiores. A capacidade de emitir cartões SIM privados para funcionários relevantes — ou contratados e fornecedores — permite a criação fácil de “grupos fechados de usuários”.

Sistemas de vigilância por vídeo

Os setores de transporte e logística têm necessidades significativas de vigilância por vídeo, bem como análises baseadas em vídeo para fins operacionais. Locais como portos, armazéns e aeroportos têm necessidades críticas para monitorar riscos de segurança e proteção, como ameaças terroristas, incêndio, intrusão, roubo ou outras atividades ilegais, potencialmente em grandes áreas do local, tanto em ambientes internos quanto externos. Tanto a vigilância do perímetro quanto o vídeo local das áreas mais sensíveis, como manuseio de bagagem, são essenciais.

Alguns subsetores, como fabricação de aviação e construção naval, enfrentam riscos adicionais de agentes geopolíticos ou espionagem.

A conectividade sem fio com 4G e 5G permite capacidade extra para imagens de alta resolução, bem como latência reduzida. Cada vez mais, as câmeras são conectadas a ativos móveis, como veículos, robôs e drones, o que obviamente requer acesso sem fio. Embora a maioria das câmeras precise de cabeamento para fornecimento de energia, mesmo as unidades com fio podem se conectar a um hub ou gateway habilitado para 5G.



Com o tempo, a computação de borda combinada com a visão de máquina permitirá automação adicional, bem como alerta imediato de anomalias.

Outros casos de uso

Há inúmeros outros casos de uso para redes privadas e 5G emergentes em transporte e logística. Alguns serão altamente específicos do setor. Alguns exemplos incluem:

- Drones usados para várias tarefas, desde a entrega de papelada a navios que esperam para chegar ao cais, até inspeções de estoques de materiais fora dos armazéns. Alguns usarão conexões 5G para transmissão ou controle de vídeo.
- Acesso sem fio fixo de edificações centrais a outros locais remotos em locais grandes, como guaritas, hangares ou unidades de armazenamento.
- Redes celulares privadas implantadas em navios ou dentro de aeronaves.
- Tarefas de sinalização ferroviária e triagem de pátio ferroviário, incluindo conformidade com as necessidades de segurança e proteção específicas do setor.
- Gerenciamento e manutenção rodoviária (por exemplo, ligação de sensores de gelo e neveiro)
- Sensores de monitoramento ambiental (por exemplo, para contaminação do ar ou da água) em torno de portos e aeroportos.



Por que implantar redes privadas?

A segunda questão mencionada acima está na base desse relatório. Por que esses casos de uso são mais adequados para serviços 4G/5G privados em vez de serviços de rede pública de MNOs?

Existem cinco razões de alto nível que a análise disruptiva usa para discutir o 5G privado:

- 🏠 Cobertura
- 🔒 Controle
- 💰 Custo
- ☁️ Integração na nuvem
- 🔄 Compensação (ou monetização)

As seções a seguir descrevem isso com mais detalhes, pois se aplicam a setores típicos de logística e transporte.

Cobertura

Uma das principais razões para usar o 4G/5G privado, em vez de serviços MNO públicos, são as limitações da cobertura da rede. MNOs tendem a implantar ativos de rede em áreas com alta densidade populacional ou ao longo de estradas principais (muitas vezes, suas condições de licença de espectro estipulam requisitos de cobertura em termos de população residente).

No entanto, os portos e os centros de armazenamento tendem a estar localizados longe dos principais centros populacionais e dos distritos residenciais/comerciais normais. Como resultado, as instalações de muitas empresas de transporte e logística geralmente têm uma cobertura relativamente ruim. Mesmo onde a cobertura pública é muito boa — como aeroportos —, a maior parte do planejamento de RAN se concentrará na pista e nos terminais para passageiros, em vez da manutenção e outras partes operacionais da área mais ampla do aeródromo.

Além disso, a cobertura interna é especialmente ruim para armazéns devido ao uso comum de metal e concreto na construção, menos janelas em comparação com outros locais e várias formas de blindagem e serralharia interna. Nos aeroportos, o manuseio de bagagem e outras funções de serviço podem ser



Disruptive Analysis
Don't Assume

Demanda: os 5 Cs do celular privado...

COBERTURA	CONTROLE	CLOUD	CUSTO	COMPENSAÇÃO
Na edificação	Segurança	Computação de borda	Substituir existente LRM/links fixos	Produtividade
Rural/remota	Soberania	Latência mais baixa	Fábrica 4.0	SIMs privados
Industrial	Personalizado	Integração TI/5G	Substituição de fibra	Roaming
Escritórios	Além do Wi-Fi	Mercado de nuvem	Evitar taxas por GB da operadora	MVNO local
Rodovia/ferrovia	Implantação	5G na plataforma IoT	TCO para conectividade IoT	Financiamento do governo
Utilitária	Vida útil	Gêmeos digitais		FWA local
Metropolitana	Mobilidade			Descarga de MNO
Militar/governamental	QoS privado			

■ Motivo principal para transporte e logística

Abril de 2022 | Copyright Disruptive Analysis Ltd 2022

subterrâneos, enquanto os portos podem precisar de boa cobertura sem fio para se estender sobre extensões de água.

Controle

A par da cobertura, esse é o aspecto mais importante das redes privadas para a maioria das empresas de transporte e logística. Muitas empresas, especialmente portos, aeroportos e centros automatizados de logística/atendimento, têm custos extremamente altos de qualquer tempo de inatividade, além de serem muito protetoras em relação à segurança da rede e às questões de segurança.

Possuir e operar sistemas sem fio 4G/5G permitem que as empresas definam e otimizem muitos parâmetros de rede por conta própria, assumindo responsabilidade direta por QoS, confiabilidade, desempenho e geração de relatórios. Por exemplo, várias portas operam locais de celular “totalmente redundantes”, onde qualquer torre individual pode ficar off-line, mas a cobertura e a operação completas são mantidas em todo o local. Centros de manutenção de aviação, com uso intenso de uplink de vídeo de inspeções de vídeo e sistemas de metrologia, podem configurar rádios localmente para refletir o equilíbrio do tráfego.

As redes privadas também significam que as empresas podem escolher seus próprios mecanismos de redundância e segurança cibernética, alinhando-se com as melhores práticas e regulamentações específicas do setor. Isso é particularmente importante em áreas como a ferroviária, onde há um longo histórico de padrões exclusivos e abordagens de conformidade.

A longo prazo, alguns dos setores aqui podem adquirir uma “fatia” personalizada de uma rede MNO 5G pública através de várias APIs e recursos de “exposição de rede”, mas isso continua sendo um modelo não comprovado e só estará totalmente disponível quando versões futuras da tecnologia 5G (versões 17/18 do 3GPP) se tornarem difundidas.

Também pode haver um requisito para integrar o domínio celular privado com outros sistemas de conectividade — como PMR/LMR para comunicações críticas ou com instalações Wi-Fi existentes. A complexidade adicional e os requisitos de personalização podem

significar que as operadoras de redes 5G públicas não são adequadas para essas tarefas.

Custo (e prevenção de riscos)

As empresas de transporte e logística tradicionalmente têm um uso relativamente limitado de redes públicas 4G/5G para uso local, além de frotas de veículos que exigem conectividade local e externa, ou terminais de passageiros que exigem boa cobertura das MNOs.

No entanto, elas costumam usar outros sistemas de rádio caros e próprios (e às vezes quase obsoletos) para comunicações push-to-talk ou conectividade de dados de baixa velocidade. As redes privadas 4G/5G podem permitir custos reduzidos de propriedade e maior taxa de transferência de dados para suportar novos aplicativos. Outras potenciais economias de custo do celular privado estão relacionadas à redução da necessidade de novas extensões de fibra, especialmente para câmeras de segurança de perímetro ou dispositivos IoT em locais inacessíveis, como telhados.

Os cálculos de custos mais complexos podem ocorrer no futuro, quando as MNOs tentarem vender serviços 5G gerenciados (talvez na forma de “fatias de rede”) para empresas desse setor. Estas competirão essencialmente com ofertas de celulares privados, embora vários híbridos sejam prováveis. De fato, algumas MNOs agora vendem soluções 4G/5G dedicadas no local como as redes privadas em si.

Nuvem

Enquanto certos subsetores, como o ferroviário, são “conservadores” quanto à adoção de tecnologias de nuvem, outros, como o de logística, demonstram um vínculo crescente entre plataformas privadas sem fio e de nuvem. O ponto de





interseção geralmente envolve o uso de computação de borda no local ou próximo ao local (notavelmente, a Amazon opera armazéns de distribuição próprios, juntamente com seus serviços de nuvem AWS — e agora seus próprios recursos 5G privados).

Há duas tendências ligadas aqui:

- As redes privadas são habilitadas diretamente por servidores de borda, que podem hospedar elementos de software, como núcleos de rede, entregues por meio de virtualização e contêineres. Os locais de hub de transporte são locais ideais para nós de computação de borda, tanto para seus próprios propósitos quanto de forma mais ampla, pois tendem a ter ampla disponibilidade de energia, backhaul de fibra e boa segurança.
- Muitas das aplicações discutidas nesse e-Book, como casos de uso 4G/5G privados para transporte/logística, podem elas próprias explorar servidores de borda. Análise de vídeo, robótica, veículos de controle remoto, monitoramento IoT, manutenção preventiva e “gêmeos digitais” são bons exemplos.

Nos próximos anos, é provável que haja uma integração ainda maior com redes privadas e requisitos de nuvem e computação de borda nos setores de transporte e logística.

A crescente ênfase na automação e segurança cibernética levará à necessidade de redes sem fio melhores (e mais resilientes) para locais de infraestrutura crítica, geralmente com nuvem/computação “soberana” também no local.

Compensação/monetização

Alguns dos setores de transporte abordados aqui, como aeroportos, podem monetizar diretamente o 4G/5G privado, oferecendo serviços de conectividade para locatários locais, como companhias aéreas, empresas de catering e outros. O Aeroporto de Heathrow, no Reino Unido, por exemplo, possui sua própria unidade de negócios de telecomunicações comerciais, administrada em conjunto com o grupo industrial SITA.

Existem também redes de celulares privadas em operação em alguns navios e aeronaves, vendendo serviços de acesso ou roaming aos seus passageiros.

No futuro, redes privadas em locais de transporte também poderão oferecer funções de host neutro para MNOs públicas — essencialmente “cobertura como um serviço”.

Opções e tendências de espectro

Visão geral

Um ingrediente-chave para as redes privadas do setor de transporte/logística é o acesso ao espectro adequado para implantações 4G/5G privado. As decisões e tendências aqui envolvem uma grande variedade de compensações em termos de cobertura, capacidade, custo, disponibilidade do dispositivo — e também política e regulamentação.

Isso também está diretamente relacionado à relevância e ao potencial de redes privadas “puras” administradas por empresas ou especialistas, em comparação com aquelas fornecidas como um serviço gerenciado por uma empresa de telecomunicações convencional que opera principalmente redes 4G/5G públicas.

Embora a maior parte do espectro adequado para redes celulares tenha sido concedida em uma base regional/nacional exclusiva para operadoras móveis públicas (MNOs), alguns setores de transporte, como ferroviário e aéreo, têm tido acesso a certas bandas dedicadas por razões operacionais. Juntamente com serviços públicos, o transporte é muitas vezes visto como “infraestrutura nacional crítica” e é tratado de forma diferente de setores comerciais, como manufatura, logística ou autoridades de trânsito local, por autoridades reguladoras. Os últimos grupos historicamente tiveram muito menos acesso direto a essas bandas de celular convencionais sem acordos de aluguel raros e complexos.

Isso está mudando rapidamente agora, pois vários reguladores nacionais disponibilizam licenças locais ou várias formas de espectro compartilhado - e as empresas de dispositivos/chips também começam a apoiá-los. Conforme mencionado acima, as MNOs também estão se tornando mais abertas a uma variedade de novos modelos de engajamento, incluindo a criação de



redes de campus privadas desacopladas de sua principal macro RAN e infraestrutura principal.

Para redes privadas nos setores de transporte/logística existem, de forma geral, três opções de espectro:

- **Banda baixa:** fatias finas de espectro abaixo de <1 GHz às vezes estão disponíveis, boas para cobrir áreas amplas, mas com baixa capacidade. Essas opções tendem a ser mais adequadas para comunicações críticas (como push-to-talk) ou dados de sensor de banda estreita e sistemas de controle. São ideais para redes rodoviárias e ferroviárias, bem como locais muito grandes, como aeroportos e portos.
- **Banda média:** para cobertura interna e em todo o campus. Adequada para armazéns, terminais de passageiros, estações e hangares, o espectro de banda média entre 2-6 GHz geralmente é ideal. É aqui que a maioria das implantações de 4G/5G privado está ocorrendo hoje.
- **Bandas mmWave:** normalmente na faixa de 26-60 GHz, as bandas mais altas são amplamente discutidas para 5G, mas ainda são raras — embora no futuro possam ser especialmente úteis para aplicações altamente concentradas que requerem grande largura de banda. O “pé-direito” extra também facilita a criação de redes de latência ultrabaixa. Alguns sistemas de cobertura interna para aeroportos usam mmWave.



As seções a seguir fornecem mais detalhes sobre algumas das bandas específicas que estão sendo disponibilizadas no mundo inteiro.

CBRS e outras opções de banda média

Para cobertura específica ou regional, um número crescente de países está disponibilizando seções de espectro de banda média para empresas e organizações de transporte e logística. Normalmente, isso é baseado em alguma forma de compartilhamento de espectro, com licenciamento manual ou baseado em banco de dados para direitos de banda e áreas específicos. Setores como portos e armazenamento/logística têm sido algumas das vozes mais poderosas persuadindo governos e reguladores dos potenciais benefícios econômicos.

Entre os exemplos mais importantes estão:

- 🇺🇸 **EUA:** nos EUA, a banda CBRS entre 3,55-3,7 GHz foi disponibilizada em uma base compartilhada e multicamadas, com acesso dinâmico gerenciado por vários provedores SAS (Spectrum Access System) automatizados. O nível superior de usuários titulares (especialmente a Marinha) tem direitos de preferência finais, mas várias empresas — principalmente a John Deere — adquiriram PALs (licenças de acesso prioritário) que dão acesso quase garantido a seções da banda com base na área do condado. Isso é adequado para redes privadas e pode ser complementado usando a camada GAA (acesso autorizado geral) sob demanda. Atualmente, apenas equipamentos 4G LTE estão prontamente disponíveis para uso com CBRS, mas é provável que seja estendido para produtos 5G nos próximos 1-2 anos. Essa banda já atraiu um grande ecossistema e é provavelmente a mais próxima do “espectro sob demanda” e da ampla democratização das redes privadas.
- 🇩🇪 **Alemanha:** a banda de 3,7-3,8 GHz foi reservada para licenciamento de rede privada localizada, com infraestrutura 4G ou 5G. Os licenciados podem solicitar direitos para locais específicos do regulador nacional — normalmente para

instalações do tamanho de um campus. As empresas de manufatura, especialmente nos setores automotivo e de engenharia, estão entre as mais entusiasmadas com a aceitação.

- 🇫🇷 **França:** uma seção de 40 MHz da banda de 2,6 GHz foi disponibilizada para comunicações críticas e uso de banda larga industrial. Embora os usuários iniciais fossem principalmente organizações de “infraestrutura”, como aeroportos e ferrovias, houve uma mudança para a fabricação durante 2021 e início de 2022. Além disso, algumas das licenças de banda média 5G das MNOs para 3,4-3,8 GHz têm mandatos regulatórios para cooperação com empresas em redes privadas.
- 🇬🇧 **Reino Unido:** a banda de 3,8-4,2 GHz está disponível para uso local de 5G, sujeita à proteção dos licenciados titulares. Há também pequenas alocações em 1,8 GHz (a banda de guarda DECT original) e 2,3 GHz. MNOs públicas, como EE e Vodafone, também estão trabalhando em implantações de redes privadas localizadas, inclusive para o setor de manufatura.
- 🇯🇵 **Japão:** o espectro está disponível entre 4,6-4,9 GHz para 5G local.
- 🇹🇼 **Taiwan:** o espectro está disponível entre 4,6-4,9 GHz para 5G local.

Vários outros países da Europa e o órgão consultivo regulador da UE, a RSPG, também sugeriram a banda de 3,8-4,2 GHz para uso futuro compartilhado/empresarial. Muitos outros países têm iniciativas regulatórias em andamento ou consultas sobre opções adequadas de banda média para o setor, incluindo Espanha, Índia e Arábia Saudita.

Outros mercados têm o potencial para aluguel local do espectro nacional alocado de MNOs (por exemplo, na Austrália, Suécia e Dinamarca), ou a capacidade de operadoras regionais especializadas em redes industriais obterem licenças comuns em áreas pouco povoadas (por exemplo, em partes da Canadá).

A principal exceção é provavelmente a China, que ainda tende a favorecer o licenciamento nacional de MNO.

Também vale a pena observar o potencial de uso de bandas não licenciadas em 2,4 GHz, 5 GHz e cada vez mais 6 GHz, bem como para 4G/5G privado — embora a falta de proteção contra interferência possa limitar o escopo para aplicações de missão crítica.

Opções abaixo de 1 GHz

O espectro de banda baixa tem relevância limitada para logística, mas é altamente adequado para comunicações privadas de área ampla em setores ferroviários ou rodoviários. Sua boa propagação interna/subterrânea também pode ser útil para IoT e comunicações de voz de missão crítica, em alguns casos como aeroportos.

Vários mercados disponibilizaram essas bandas para:

🇪🇺 **EUA:** seguindo uma decisão da FCC em 2020, vários licenciados têm acesso ao espectro de 900 MHz, com 6 MHz para uso de banda larga e 4 MHz para uso de banda estreita. Em particular, um grande detentor de espectro, a Anterix, trabalha com várias concessionárias locais para criar uma infraestrutura adequada. Não está claro se isso também se estenderia ao setor manufatureiro.

🇳🇴 **Noruega:** várias empresas de petróleo e serviços públicos detêm o espectro de 700 MHz e 900 MHz para redes offshore privadas — mas, novamente, isso também pode ser relevante para certos fabricantes especializados que atendem ao setor de energia.

Também é possível usar versões IoT de banda estreita de 4G (NB-IoT e LTE Cat-M) nas várias alocações com menos de 1 GHz, licenciadas ou não licenciadas.

mmWave

Vários países, incluindo Alemanha, Reino Unido, Finlândia, Malásia e Japão, têm disponibilizado 26 GHz, 28 GHz ou outro espectro de banda alta para uso local. Nos EUA, Itália e Coreia do Sul, algumas MNOs também estão analisando oportunidades em redes privadas mmWave. Isso é direcionado principalmente para locais internos/campus, como armazéns e minas, bem como áreas de alta densidade de passageiros, como terminais de aeroportos. No entanto, também há potencial em áreas como portos e pátios ferroviários.

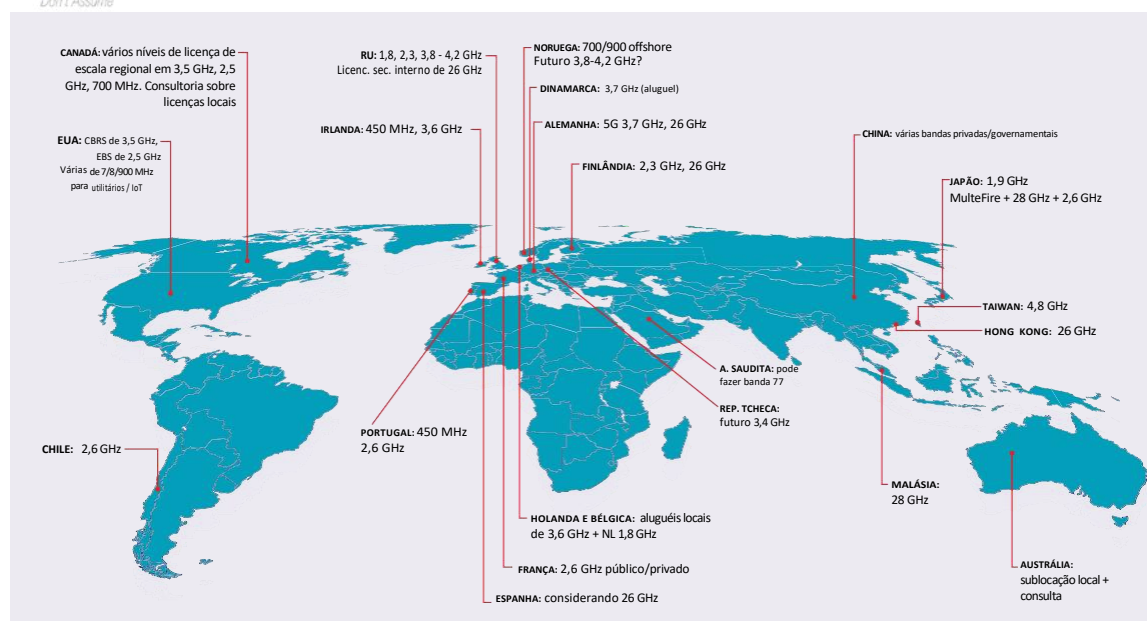
Os principais casos de uso são para uso local de alta capacidade, como veículos acionados remotamente ou câmeras de alta definição, especialmente quando montados em veículos, guindastes ou robôs.



Disruptive Analysis

Don't Assume

Lançamento de espectros de bandas para 4G/5G não público



Março de 2022 |
Copyright Disruptive Analysis Ltd 2022

Conclusão e futuros de longo prazo

O setor de transporte e logística já é um dos líderes na adoção mainstream de redes celulares privadas. Ele combina os primeiros setores que exigem “comunicações críticas” com usos mais avançados de 4G/5G privados no domínio da conectividade IoT/OT (tecnologia operacional).



Entre os maiores defensores do celular privado hoje estão os portos e aeroportos, que combinam vários casos de uso de alto valor em campi de tamanho médio, com altos níveis de habilidade técnica existente e uso de conectividade sem fio. Muitas das funções mais valiosas ocorrem ao ar livre, onde Wi-Fi e fibra são alternativas ruins.

Armazéns e centros de atendimento modernos formam outra categoria em que o 4G/5G privado foi rapidamente adotado, auxiliado por altos níveis de automação e uma explosão de novos locais “virgens” construídos no aumento do e-commerce/entrega, projetados desde o início em torno de robôs e sistemas IoT.

Embora esse relatório tenha focado nos aspectos de rádio do 4G/5G privado, é importante reconhecer que o ecossistema mais amplo — de redes centrais a computação de borda e sistemas de planejamento/design/teste — está evoluindo em conjunto, juntamente com uma enorme variedade de integradores de sistemas e especialistas verticais.

Há uma maturidade crescente da tecnologia 5G de nível empresarial, especialmente com recursos relacionados ao transporte na versão 16/17/18 do 3GPP. Juntamente com a

maior disponibilidade de espectro local ou dedicado, deve haver um dinamismo saudável contínuo por muitos anos. Em 2025, pode haver milhares de redes privadas em transporte e logística, e talvez dezenas de milhares.

Além disso, embora os locais de logística/armazém novos possam ser “5G primários”, na maioria dos casos haverá instalações significativas de outras tecnologias de rede. Portos, aeroportos, estações ferroviárias e organizações similares manterão uma gama complexa de redes e tecnologias sem fio para diferentes propósitos — desde conectividade Wi-Fi para passageiros até sistemas de radar e protocolos dedicados de controle de tráfego ferroviário/aéreo. Haverá também muitos fornecedores estabelecidos, como sistemas de aviação ou empresas de fabricação de trens, que muitas vezes atuam como canais ou integradores para sistemas de conectividade (muitas vezes de marca própria). A indústria 5G precisa se encaixar nesses operadores existentes (ou próximo deles).

Tabela: Exemplos de implantações/testes de 4G/5G privado em transporte/logística

Empresa	País	Setor/propósito	Espectro/proprietário
Porto de Southampton	Reino Unido	Cobertura de transporte/armazenamento automotivo	3,4-3,8 GHz local compartilhado
Aeroporto de Heathrow	Reino Unido	Veículos de rampa e outros usos	3,5 GHz (banda 3UK)
Aeroporto de Bruxelas	Bélgica	Muitos usos, incluindo câmeras de segurança, IoT, controle de drones, veículos automatizados	3,5 GHz (LTE + 5G)
Aeroporto de Paris CDG	França	Comunicações de voz e dados do grupo do lado do portão para retorno da aeronave. Também uso no hangar	LTE de 2,6 GHz + testes de 5G
Lufthansa Technik	Alemanha	Manutenção/inspeção remota de motores a jato	Banda 5G privada de 3,7 GHz
Estação St Pancras de Londres	Reino Unido	Monitoramento de condição IoT da estação ferroviária	5G de 3,8-4,2 GHz
Centrais de atendimento da Amazon	Reino Unido	Controle de caminhão/câmeras fora do armazém da Amazon	LTE privado de CBRS
Túnel Ferrovia / Silvertown	Polônia	Automação/dados de construção de túneis rodoviários	5G privado de 3,8-4,2 GHz
Ferrovias de Tóquio	Japão	Teste de câmeras 5G + IA para detecção de anormalidades na linha + plataforma para fechamento seguro de portas	Deve ser banda 5G local de 4,6-4,9 GHz
Porto de HaminaKotka	Finlândia	Vídeo e análise, veículos, PTT do trabalhador, etc.	LTE privado de 2,6 GHz
Porto de Roterdã	Holanda	Veículos de movimentação de contêineres	LTE local de 3,7-3,8 GHz
Saab	Suécia	IoT de fabricação aeroespacial	LTE de 1,8 GHz, 5G de 3,7 GHz
Zyter	EUA	Sistema de armazém inteligente, incluindo AGVs, RA/RV, gêmeo digital e sensores IoT	LTE privado de CBRS
Ondas Networks	EUA	Comunicações críticas para ferrovias de Classe 1	LTE privado de 900 MHz

Fonte: Disruptive Analysis



www.ibwave.com