



# Arquitetura para garantia da qualidade de serviços de transporte de mercadorias delicadas

Paulo Matos\*, José Amaro\*, Rui Lopes\*  
Prof. Instituto Politécnico de Bragança

## RESUMO

*O transporte de mercadorias é uma das principais atividades económicas da atualidade e pilar essencial de muitas outras atividades, com uma tendência de crescimento bem definida e com necessidade cada vez mais exigentes, nomeadamente com maior garantia de qualidade, seja esta definida nos prazos ou nas condições de transporte. O que é particularmente pertinente quando em causa estão mercadorias delicadas, perecíveis, de elevado valor comercial ou mesmo sentimental. A existência de serviços assegurados (com garantia de cumprimento das condições acordadas para o transporte), não só transmite a confiança necessária ao cliente final, como pode mesmo promover outros negócios. Presentemente, esta garantia de qualidade assenta essencialmente na validação, muitas vezes empírica, do estado da mercadoria após a entrega. Nem sequer se pode falar de confirmação aquando entrega, pois na realidade maior parte das operadoras evita esta confrontação.*

*Neste artigo os autores apresentam a arquitetura de uma solução que permite monitorizar as condições de transporte da mercadoria ao longo de todo o trajeto, reportando em tempo útil as possíveis não conformidades, com a garantia de veracidade dos dados recolhidos. A arquitetura foi idealizada no sentido de promover uma solução de uso genérico (em qualquer contexto em que surja a necessidade de dar garantias sobre as condições de transporte), de baixo custo de adoção e operacionalização e passível de ser utilizada com as tecnologias que efetivamente já existem no mercado. A solução em si presta-se a promover o cumprimento das condições contratualizadas e, quando tal não corre, permite identificar claramente os incumpridores. Dá assim garantias ao cliente final do serviço contratualizado, mas também permite às prestadoras dos serviços de transporte identificar de entre os seus operacionais ou empresas subcontratadas, quem é que não cumpriu com as condições acordadas.*

*Palavras-chave: Transporte mercadorias, IoT, monitorização.*

## I. INTRODUÇÃO

O transporte de mercadorias é, por si só, uma das principais atividades econômicas da atualidade e pilar essencial de muitas outras atividades. Tem vindo sistematicamente a crescer ultrapassando os 3% ao ano [1].

O serviço prestado assenta na premissa maior de transportar a mercadoria entre dois locais, cobrando por esse serviço. A dimensão desta atividade é de tal forma grande que dá origem a contextos e requisitos muito diversificados. Chegando ao ponto de suportarem circuitos comerciais de transporte intercontinental com prazos e periodicidades que se quantificam em horas.

Mas outros requisitos se impõem, como é o caso das condições de transporte. Seja em resultado das exigências de qualidade do cliente final; ou seja, simplesmente como forma de viabilizar determinadas transações (negócios) que sem essas condições de transporte, não seriam viáveis.

A prática atual está assente no pressuposto de que o prestador de serviço cumpre com as condições de transporte. Mesmo quando tais condições dizem respeito a prazos, a prática é de que na grande maioria das vezes efetivamente se cumprem os prazos, mas é igualmente aceite que o serviço não é garantido na totalidade dos casos.

Quando as condições de transporte dizem respeito a condições de temperatura ou humidade, a confirmação de que o serviço foi prestado segundo o acordado, resulta muitas vezes numa verificação empírica do estado da mercadoria aquando da entrega ou, quando muito, em auditar com alguma regularidade o serviço de transporte.

Na maioria das situações a garantia de que o serviço é prestado nas condições acordadas, tem por base um seguro de mercadoria, que em caso de perda ou degradação, salvaguarda o cliente dos prejuízos que possa ter. Mas que não evita custos indesejáveis, seja pelos seguros em si, seja pelas indenizações em caso de perda.

A isto podem acrescer custos de incumprimento de obrigações contratuais de fornecimento ou falha de stock, que podem ter repercussões ao nível da imagem empresarial dos envolvidos ou mesmo levar a perder oportunidades de negócio.

Como se não bastasse há ainda os custos ambientais – uma mercadoria que se estraga/inutiliza, é à partida lixo de algo que requereu recursos a produzir, que requereu recursos de transporte e de forma geral de logística, e que agora se transforma em lixo, muito provavelmente com impacto ambiental direto ou com custos acrescidos para ser reciclado.

O próprio princípio de que há um seguro que protege os visados em situação de danos ou perda de mercadoria, particularmente em resultado da não salvaguarda das condições de transporte, é antagónico com as atuais exigências sociais que fomentam uma economia sustentável e circular, cuja principal premissa é desde logo evitar ou minimizar a produção de lixo.

As condições de transporte são particularmente relevantes em caso de mercadorias delicadas. É o caso de mercadorias destinadas a alimentação, como carne, peixe, fruta ou legumes, cujo transporte deve ser realizado em condições muito bem definidas e, por vezes, regulamentadas, de temperatura, humidade ou mesmo ventilação.

De realçar que este tipo de mercadoria é transacionável à escala global, seja em produto fresco, congelado ou de outras formas. O Brasil é, por exemplo, um dos grandes exportadores mundiais de proteína animal, nomeadamente de origem bovina [2], abastecendo mercados tão longínquos como a China ou Rússia, com percursos distantes e demorados (grande parte do percurso é feito por via marítima).

A origem da carne, quem a produz, que certificações tem, são alguns dos fatores importantes para a valorização do produto, mas também para a sustentabilidade do negócio. Que carecem de investimento e de tempo, implicando convencer e conquistar a confiança do consumidor, o que não é tarefa fácil. No entanto, não basta produzir o melhor produto, se as condições da logística de transporte colocarem em causa essa qualidade e reconhecimento.

O transporte deste tipo de mercadoria quase sempre envolve transporte rodoviário com câmaras refrigeradoras, muitas das vezes operados por empresas subcontratadas ou trabalhadores em nome individual, que não respondem diretamente a quem contrata o serviço de transporte e, como tal, menos preocupados com a qualidade do serviço prestado e mais com a rentabilidade do seu trabalho – até porque a sua margem de lucro é normalmente pequena em resultado da reduzida capacidade negocial e da muita concorrência que existe a este nível. Para pouparem em despesas, não raras as vezes, não cumprem com as condições contratualizadas para o transporte. Por vezes desligam ou reduzem o sistema de refrigeração (para reduzirem o consumo de combustível); nem sempre recorrem a entrepostos de logística para efetuarem as pausas de descanso/pernoitar (onde a mercadoria pode ser mantida nas devidas condições de conservação); entre outras decisões que podem facilmente levar à degradação ou contaminação bacteriológica da mercadoria.

Sendo esta uma realidade que infelizmente ocorre, nem o produtor, nem o consumidor, podem ter garantias de que o transporte foi realizado nas condições devidas e, sem terem culpas diretas, acabam a comercializar um produto de qualidade inferior ou mesmo fora de condições para consumo.

O transporte de mercadorias delicadas abrange outros produtos, como é o caso do transporte de animais vivos. Com dois grandes segmentos: animais para abate (para consumo humano ou para outros fins); e animais de estimação/competição. Seja num caso ou noutro, as condições de transporte podem ter consequências que não são de imediato detetáveis. Por exemplo, o animal pode ser

entregue vivo, aparentemente bem de saúde, e passado uns dias ou semanas falecer ou ficar gravemente doente. Apurar as causas é já de si difícil, mas se as suspeitas recaem no incumprimento das condições de transporte, então é praticamente impossível fazer prova disso. Pode significar um animal cujas condições de saúde impeçam o abate para consumo humano ou mesmo para qualquer outro tipo de consumo, perdendo grande parte, se não todo o seu valor comercial. Mas pode ser bastante mais grave, se o animal em causa é de estimação ou de competição – em que os prejuízos podem assumir valores muito elevados e que podem ir muito para lá dos prejuízos monetários.

Há ainda o caso de mercadorias como obras de arte ou achados arqueológicos, por vezes de valor inestimável e insubstituíveis. Ou simplesmente de equipamento técnico de elevada precisão ou extremamente delicado, que não pode ser sujeito a quedas, movimentos bruscos ou inclinações, que não sendo detetáveis na mercadoria, podem por em causa o pleno funcionamento dos mesmos.

Exemplos há onde as condições são asseguradas por outras vias. Por exemplo, no transporte de órgãos para transplante, há o cuidado de acondicionar o órgão num contentor próprio para o efeito, onde temperatura e humidade são controladas. Ao operador de transporte compete essencialmente não sujeitar a embalagem a deslocamentos violentos e entregar em tempo útil. Em qualquer dos casos, este tipo de transporte é feito em condições muito especiais, raramente recorrendo a serviços comerciais.

Em suma, cada vez mais urge facultar serviços de transporte de melhor qualidade e com mais garantias do que simplesmente cumprir o prazo de entrega. A solução passa naturalmente pelas condições criadas pelos transportadores e demais operacionais da logística de transporte, mas compete ao mercado exigir garantias mais efetivas de que o serviço é prestado nas condições acordadas. Ganha com isto quem produz, quem compra e até quem faculta os serviços de transporte, pois quase sempre existem empresas subcontratadas (em particular no transporte de longa distância), pelo que a necessidade de garantias se coloca também entre empresa que presta o serviço de transporte perante o cliente e empresas subcontratadas.

Os autores apresentam neste artigo a arquitetura por estes idealizada para assegurar um mecanismo de garantia de serviço aos envolvidos, incluindo o cliente. A arquitetura foi concebida para poder ser adotada por qualquer transportadora que queira facultar um serviço com garantia das condições acordadas para o transporte da mercadoria, não requerendo alterações significativas ao modelo operacional das empresas. Foi também tido em consideração os custos de adoção da solução e os custos operacionais, trabalhando a arquitetura no sentido de os minimizar.

## II. ESTADO DA ARTE

Ambrosus [3] é uma solução comercial que faculta serviços de integração para dispositivos Internet of Things (IoT) registarem dados em *blockchains* [4, 5], suportadas por tecnologia Ethereum [6, 7, 8]. A ideia é permitir que os clientes (empresas de transporte) possam desenvolver as suas próprias soluções de garantia de qualidade das condições de transporte, com a necessária transparência e veracidade. A empresa disponibiliza APIs em várias linguagens, o cliente pode criar através destas *smart contracts* [9, 10], implementar interfaces de utilização para os vários atores, incluindo *dashboards*; integrar os seus dispositivos de monitorização e, claro está, registar os dados recolhidos.

Em termos do principal objetivo da arquitetura apresentada pelos autores, que é facultar garantias da qualidade do serviço prestado, a Ambrosus é um trabalho de referência. No entanto, está apenas focado em parte do processo (integração em *cloud*). Ao deixar em aberto partes fundamentais do processo, como por exemplo a recolha de dados, compromete desde logo toda a solução, nomeadamente os dois valores maiores: transparência e veracidade da informação.

A Modum é uma empresa que fornece diversas soluções para monitorizar as condições de transporte de mercadorias. Como serviço/produto comercial não há muitos detalhes sobre as soluções implementadas ou mesmo sobre a maturidade dessas soluções. O ModSense One [11] é uma solução premiada da Modum, para monitorizar a temperatura, composta pelo: dispositivo físico, que coleta os dados; aplicação móvel; blockchain; *dashboards*; e geração de relatórios. É uma solução completa, onde o dispositivo é acoplado à mercadoria no início do transporte, seguindo um protocolo que inicia o *smart contract* com as condições de transporte e relaciona a etiqueta de identificação do transporte (código de barras que acompanha o exterior da embalagem) com o dispositivo. O aparelho coleta os dados periodicamente e, dentro dos possíveis, assegura que estes são disponibilizados em tempo real.

Apesar de ser uma solução completa, está idealizada para empresas de transporte ou com atividades de logística, no sentido destas monitorizarem os seus próprios recursos e mercadorias, e não para prestar garantias do serviço a terceiros. Isso é aferível, pelas soluções técnicas disponíveis, algumas das quais implicam a instalação de routers fixos (em armazéns ou mesmo veículos móveis) para dar encaminhamento dos dados recolhidos para a *cloud*; pelo preço de comercialização da solução e pela especialização dos equipamentos e do software. Não é assim uma solução aberta e desenhada para ser amplamente adotada, com custos de instalação e operação reduzidos, focada em prestar garantias aos clientes - como se pretende com a arquitetura proposta neste artigo pelos autores. Tem, no entanto em comum, muitas das opções tecnológicas e

considerações abordadas na concepção da solução apresentada neste artigo.

A Roambee [12] é uma empresa que fornece uma solução versátil para monitorizar mercadorias, equipamentos, máquinas, veículos, entre outros, ao longo do processo de transporte, mas também nos armazéns ou mesmo nas lojas. Está focado no mercado empresarial (empresas) e não no cliente individual. A solução tem por base o BeeBeacon, que é o dispositivo de monitorização que permite, dentro dos possíveis, facultar dados em tempo real. Entre os dados coletáveis está a temperatura, humidade, pressão, localização geográfica e outros, podendo mesmo o BeeBeacon conter sensores para deteção de determinados tipos de gases de natureza orgânica.

Os BeeBeacons comunicam através de Bluetooth Low Energy (BLE) [13, 14], existindo um *gateway* próprio para os dispositivos BLE enviarem dados para a *cloud* (Roambee *cloud*) através da rede 3G/4G. As informações são atualizadas a cada 15 minutos e, além dos dados coletados periodicamente, os BeeBeacons podem despoletar notificações de alerta sempre que ocorre incumprimento das condições de transporte.

O *gateway* é fixo no armazém ou no veículo de transporte e é o dispositivo que contém o Global Positioning System (GPS), que permite fazer e geolocalização dos dados recolhidos. Os BeeBeacons são fixados na mercadoria, mas também podem ser usados em posições fixas, como armazéns ou arcas refrigeradoras.

Se a rede móvel não estiver disponível ou se não existir nenhum *gateway* ao alcance, os BeeBeacons gravam os dados localmente até obterem acesso a uma rede móvel ou a um *gateway*.

A Roambee optou por ter os BeeBeacons em *advertise* contínuo (sempre ligado), estando assim sempre disponíveis para aceitar ligações de, por exemplo, plataformas móveis que possuam a aplicação da Roambee. A própria plataforma móvel presta-se a funcionar como *gateway* de envio de dados para a *cloud*.

Através do Roambee Cloud Portal os clientes podem obter relatórios e aceder a diversos *dashboards* informativos.

Como solução arquitetural, Roambee é a mais próxima da apresentada pelos autores, mas os objetivos, prioridades, mercado-alvo e opções técnicas são bastante distintos. A Roambee enfatiza o acesso aos dados em tempo real e a relação entre tempo e localização geográfica da mercadoria – abordagem relevante para gestão logística. Os requisitos estruturais e as opções técnicas remetem a solução para um contexto onde todo o processo é controlado por uma única empresa e onde as distâncias e tempos de transporte não são muito longos. Não há uma preocupação específica com a veracidade dos dados e aspetos como a autonomia dos dispositivos, investimento e custos operacionais foram relegados para atender a outros requisitos. Não quer dizer que seja uma solução pior, mas que está idealizada para outros contextos e objetivos.

### III. CONTEXTO DE APLICAÇÃO

A solução de base idealizada para assegurar que o serviço é prestado nas condições contratualizadas, passa por monitorizar o transporte da mercadoria e prestar informações fidedignas sobre o mesmo, nomeadamente das não conformidades que possam ocorrer.

Acima de tudo, tem que existir a garantia que as informações recolhidas são verdadeiras e que é possível através destas identificar os incumpridores e imputar responsabilidades.

Na realidade, na perspetiva dos autores, a ideia não é perseguir quem não cumpre, mas incentivar ao cumprimento, isto é, se todos os envolvidos tiverem a perceção de que existe um sistema efetivo de controlo, com identificação dos responsáveis pelas não conformidades e com imputação de responsabilidades, então não faz sentido aceitar prestar o serviço se não for para cumprir com as condições acordadas. Pois os custos do não cumprimento são normalmente bastante superiores aos valores cobrados pelo serviço de transporte.

De realçar que na maioria dos transportes são vários os operadores envolvidos, quer em transporte propriamente dito, quer em armazenamento. Em trajetos maiores o serviço pode inclusive ser prestado recorrendo a várias operadoras, isto é, o serviço é contratado a uma operadora, que por sua vez contrata outras, cada uma responsável por uma parte do percurso. É mesmo normal, que uma subcontratada tenha ela própria outras subcontratadas.

Ocorrerá assim certamente a transferência de mercadoria, de operador em operador, podendo mesmo acontecer que a transferência requiera mudar de contentor ou meio de transporte.

É também vulgar que o transporte se faça por vários países, tendo que passar por várias alfandegas, e ficando por vezes retido temporariamente em locais de armazenamento.

O importante é que as condições contratualizadas sejam asseguradas ao longo de todo o processo de transporte e se faça prova disso perante todos os envolvidos.

### IV. OPÇÕES TÉCNICAS

De forma genérica, a solução consiste num módulo de monitorização contendo sensores, que recolhem dados das condições de transporte, e um processador que faz o controlo local e assegura forma de exportar os dados, para que possam ser facultados aos envolvidos no processo de transporte, remetente e destinatário da mercadoria.

A solução mais simplificada seria extrair os dados aquando da entrega ao destinatário, sendo estes depois remetidos de alguma forma para os visados. Existindo não conformidades, o destinatário seria desde logo informado e ficaria com provas para solicitar as devidas compensações.

Já a empresa prestadora do serviço ficaria com o ónus da culpa e teria que pagar os prejuízos ou despoletar os

seguros existentes. Mas não teria informações suficientes para identificar internamente ou perante as empresas subcontratadas, os responsáveis pelas não conformidades.

A contextualização geográfica do local da ocorrência das não conformidades, com recurso a GPS, que teria que ser parte integrante do módulo de monitorização, poderia já permitir à empresa prestadora do serviço identificar quem foi o responsável pelas não conformidades.

A localização pela via do GPS está disponível em qualquer parte do planeta, é um serviço sem custos, não envolve operadoras (o que poderia levantar problemas logístico de uso do GPS), pelo que seria uma excelente solução, não fosse o seu custo e o impacto que pode ter na autonomia do módulo de monitorização, dado o seu elevado consumo (em termos relativos). Por exemplo, no caso da solução da Roambee o GPS faz parte da *gateway*, que é instalada de forma permanente/fixa em locais onde possa ser alimentada da rede elétrica ou equivalente (bateria do veículo de transporte), não tendo assim problemas de autonomia energética. Os BeeBeacons, que são alimentados a baterias e que têm limitações de autonomia, recolhem os dados e passam-nos para a *gateway* local. É esta que, com recurso ao GPS, faz a contextualização geográfica dos dados recolhidos pelos BeeBeacons. A utilização do GPS nos próprios dispositivos de monitorização coloca assim sérias limitações, nomeadamente em transportes de longa percurso (duração).

Uma alternativa seria contextualizar os dados das não conformidades em termos temporais, mesmo que de forma relativa, com recurso a um Real Time Clock (RTC), cujo consumo energético é extremamente reduzido. No entanto, esta solução pode não permitir apurar responsabilidades, se a entidade prestadora não tiver registos das datas de receção e entrega de mercadoria, entre operadores.

Para lá das destas condicionantes técnicas, a solução de reportar os dados apenas aquando da entrega da mercadoria tem, na opinião dos autores, outras desvantagens:

- Desde logo não há qualquer possibilidade de recuperar de não conformidades menores, que detetadas atempadamente, poderiam ser colmatadas ou corrigidas, minimizando os danos causados;
- A distância temporal entre a data de entrega e a data da ocorrência das não conformidades pode ser tão grande que dificulte a perceção de causa-efeito. Isto é, o operador responsável pelas não conformidades será chamado à responsabilidade já muito após os fatos terem ocorrido, podendo nesse tempo muitas outras mercadorias terem sido sujeitas às mesmas condições (não conformes) de transporte. Podendo acontecer que o incumprimento resulte de uma falha do processo, desconhecida do próprio operador (um operário menos competente ou mal-intencionado, um defeito no equipamento de climatização, um processo burocrático demasiado longo, ou algo equivalente).

- Implica que a mercadoria seja transportada até ao destinatário, mesmo que esteja já em situação irrecuperável.

É desejável uma solução algo mais reativa, que reporte as não conformidades tão logo que as mesmas ocorram e assim, permita não só identificar os responsáveis, como eventualmente intervir para recuperar dessa situação.

No extremo oposto, teríamos uma solução em que as não conformidades são reportadas em tempo real. É inclusive esta a solução utilizada pelas soluções comerciais analisadas e é tida como uma grande mais-valia. E é tão valorizada que é aceitável que condicione toda a solução técnica ao ponto de limitar as situações efetivas de uso. Isto porque, a comunicação em tempo real tem desde logo dois problemas críticos: autonomia energética e restrições relativas às tecnologias de comunicação e topologias, que condicionam o âmbito de aplicação. E é aqui que os autores começam a divergir das opções adotadas nos demais trabalhos analisados, isto porque, o que se pretende é uma solução tão genérica quanto possível, que funcione nos mais diversos contextos, sem exigir alterações profundas do *modus operandis* das empresas de transporte, e sem grandes custos de adaptação e operacionalização.

O acesso às condições de transporte em tempo real é, na opinião dos autores, uma vantagem que face às implicações que tem, está sobrevalorizada e mal redirecionada em termos de utilidade. Em termos práticos ter acesso periódico às condições de transporte da mercadoria não é que se pretende. É conceptualmente interessante e tem potencial para se facultarem outras mais-valias, mas na realidade as empresas não estão focadas na monitorização da mercadoria, mas sim na sua logística, com o pressuposto que em condições normais estão asseguradas as condições adequadas de transporte. O que efetivamente se pretende é identificar quando isso não ocorre e, dentro do possível, em tempo útil para permitir atuar no sentido de corrigir/recuperar da situação. De realçar que tempo útil, não é necessariamente igual a tempo real. Por exemplo, no caso de uma mercadoria dentro de um contentor num navio – havendo não conformidades nas condições de transporte, na maioria das situações de pouco adianta ter acesso em tempo real a essa informação, pois qualquer intervenção só poderá ser feita no desembarque do contentor (salvo exceções muito específicas).

Para além de que, mesmo com tecnologias bastante eficientes, como é o caso do Long Term Evolution for Machines (LTE-M) [15, 16] e do NB-IoT [17, 18, 19, 20], não há cobertura à escala global (pelo menos para já). Acresce que o custo desta tecnologia é ainda muito elevado e tem custos operacionais (de acesso ao serviço de dados). Nos locais onde já há cobertura, os preços praticados estão ainda elevados. E mais elevados são quando há necessidade de recorrer a operadores globais (que na realidade não são globais, pois o seu serviço é prestado com recurso aos

serviços das operadoras locais – que ainda não cobrem todas as áreas geográficas).

Em qualquer dos casos, e tendo por base o que se passa com o 4G, será pouco provável vir a existir uma cobertura abrangente, pelo menos em locais mais remotos, como no meio do oceano.

A outra solução seria utilizar comunicações por satélite [21], no entanto, quer o custo de equipamento, quer o custo operacional, é demasiado elevado para a maioria das aplicações no presente contexto. Só mesmo em caso de mercadorias de elevado valor se poderia justificar esta possibilidade.

Resta aguardar pelo 6G [22, 23, 24] no âmbito do qual já existe uma iniciativa para permitir ligações de dispositivos IoT via satélite, mas que vai demorar certamente uns bons anos a estar disponível para utilização.

Assim, para lá de não existir uma solução de custo razoável e de cobertura global, temos ainda o problema de que, pelo menos as tecnologias mais convencionais, como é o caso do LTE/GSM, o consumo energético é demasiado alto e tem impacto direto na autonomia dos dispositivos de monitorização. É particularmente crítico, porque os dispositivos de monitorização querem-se pequenos, no sentido de poderem ser acoplados a todo o tipo de mercadoria. A dimensão condiciona o tamanho das baterias e, em consequência, a capacidade de carga destas. O que limita o tempo de funcionamento dos dispositivos.

Para uma melhor perceção do impacto na autonomia, é preciso ter presente que com as atuais tecnologias *ultra-low power*, os consumos dos processadores e sensores são na ordem das poucas unidades de  $\mu\text{A}$ , podendo mesmo ser na ordem de poucas centenas de  $\text{nA}$ , o que permite que mesmo com uma simples bateria do tipo CR2032, funcionem por vários anos. No entanto, começando a utilizar comunicações, mesmo com tecnologias IoT tipo BLE, os consumos já passam para as dezenas de  $\text{mA}$  (10000 vezes superior). Se forem utilizadas tecnologias do tipo Wifi ou LTE, já estamos a falar de centenas de  $\text{mA}$ , que utilizados em contínuo, reduziriam a vida útil de uma bateria CR2032 a poucas horas.

Sem a necessária autonomia pode estar em causa a monitorização integral do percurso de transporte e, como tal, toda a mais-valia da solução. Mas mesmo pensando que uma bateria possa sobreviver a mais do que um percurso, é de todo fundamental minimizar o número de vezes que tem que ser substituída/recarregada, seja pelo custo, impacto ambiental ou indisponibilidade dos dispositivos.

Em suma, ter acesso em tempo real é bom, mas face às implicações que tem em termos de condicionar o âmbito de aplicação (que já vimos impede a utilização à escala global) e face ao atual estado da tecnologia (ainda dispendiosa), é uma solução excessiva.

Pelos motivos também já apresentados, também não é alternativa comunicar os dados apenas aquando da entrega da mercadoria.

## V. ARQUITETURA

A solução idealizada pelos autores tira proveito da tecnologia existente para facultar uma solução que se ajusta à situação prática da logística de transporte, seja em autonomia dos dispositivos, custos de aquisição e de operacionalização, tecnologia de comunicações, ou simplesmente no propósito da solução.

Para lá de não ser recomendável o uso de tecnologias com consumos elevados, a solução deve ser idealizada no sentido de reduzir os consumos ao mínimo. Para o efeito, consideraram-se as seguintes diretrizes:

- Utilizar tecnologias de comunicação IoT, de baixo consumo, tipo BLE e minimizar os períodos de comunicação (funcionalidade de maior consumo nos módulos de monitorização) [25, 26, 27, 28, 29, 30];
- Utilizar processadores *ultra low power* e minimizar o tempo que o processador está ativo;
- Utilizar sensores digitais *ultra low power*, com limites programáveis, que se excedidos façam despoletar uma interrupção física;
- Recolher apenas dados sobre as não conformidades, isto é, não havendo dados a reportar é porque as condições de transporte estão a ser cumpridas.

Os módulos de monitorização contêm os sensores necessários a avaliar as condições de transporte, como por exemplo: temperatura, humidade, deslocação, etc. Conforme já referido, deve ser privilegiada a utilização de sensores *ultra low power* que operem sem o apoio do microprocessador e que apenas em condições de não conformidade, acordem o processador através de uma interrupção física, para que este registre a ocorrência.

O processador estará grande parte do tempo em modo *sleep* (boa parte dos recursos inativos para reduzir os consumos) e só acorda para registar não conformidades ou para comunicar os dados.

O módulo de monitorização contém também um RTC que serve para contextualizar temporalmente as ocorrências das não conformidades. Sempre que existe uma ocorrência e o processador é acordado, este regista o tipo de medida (temperatura/humidade/...), o valor da medida e valor do RTC.

A solução de comunicação proposta é o BLE pelo seu baixo consumo, mas principalmente por esta ser uma tecnologia comum, disponível na grande maioria dos dispositivos móveis (smartphones, tablets ou mesmo portáteis), que são parte fundamental da arquitetura proposta.

O BLE pode ser disponibilizado como um módulo externo ao processador ou embutido neste (SoC – System On Chip), como é o caso do chip utilizado para validar a arquitetura (nRF52832 da Nordic SemiConductors [31]).

O BLE define dois *roles*: o central e o periférico. O periférico disponibiliza características agregadas em serviços, as quais podem ser de escrita, leitura e notificação (existem outros modos de acesso, mas que não são utilizados na arquitetura proposta).

O central comporta-se como um cliente que se liga a um servidor (periférico) e acede a essas características, sendo a comunicação efetiva feita lendo e escrevendo nas características.

Dependendo do processador e da *stack* que implementa o BLE, a escrita e, eventualmente a leitura, de características pode despoletar um evento do lado do periférico.

No caso de características do tipo notificação, sempre que no periférico o valor da característica muda, o central é notificado, ocorrendo um evento para o efeito.

As características são definidas no âmbito de um serviço, que pode ter uma ou mais características. Ao se habilitar/desabilitar um serviço, habilitam-se/desabilitam-se as respetivas características.

Cada módulo deve ter ainda alguns componentes de sinalética, como por exemplo Light Emitting Diode (LED's), para indicarem o estado do dispositivo, em particular aquando da comunicação. E pelo menos um botão para ativar a comunicação.

De forma muito reduzida, o funcionamento do BLE assenta no seguinte procedimento:

- a) O periférico é colocado em modo *advertise* que transmite a indicação que o dispositivo está disponível, eventualmente com alguma informação, nomeadamente sobre os serviços disponíveis (cada serviço tem um identificador próprio);
- b) O central terá que ser colocado em modo *scan* que procura por sinais de rádio de *advertise*, podendo o *scan* estar pré-configurado para apenas procurar por periféricos que anunciem determinados serviços;
- c) Se encontrado o dispositivo desejado, o central pode então requisitar a conexão;
- d) Dá-se então a conexão, que pode envolver procedimentos de segurança, com diferentes níveis de concretização – alguns dos quais são utilizados na arquitetura proposta;
- e) O central pode ler/escrever nas características disponíveis com estes tipos de acesso;
- f) O periférico pode notificar o central via características deste tipo;
- g) A ligação entre dispositivos pode ser terminada por qualquer um dos envolvidos.

O *role* central é desempenhado pelo dispositivo móvel (pode ser também por um dispositivo que opere no modo C – ver explicação mais adiante).

Após análise do contexto real de utilização e perante os diversos cenários identificados, definiram-se três modos operacionais para os dispositivos de monitorização, a saber:

**Modo A** – O *advertise* é ativo pressionando um botão no dispositivo de monitorização, abrindo assim uma janela temporal durante a qual é possível estabelecer ligação.

**Modo B** – O dispositivo de monitorização está continuamente a fazer *advertise*, isto é, está continuamente disponível para se conectar com um central.

**Modo C** – À semelhança do modo A, o *advertise* só é ativo caso se pressione o botão. Os dispositivos deste tipo servem para agregar dados provenientes de dispositivos que operem no modo A/B, estabelecendo uma rede local com topologia em estrela, em que o dispositivo a operar no modo C funciona como nodo central e serve de *gateway* para os dispositivos a operar em modo A/B. Este modo está previsto para situações de agregação/desagregação de mercadorias em contentores, onde não é possível aceder ao interior para leitura de dados (esta situação não é abordada neste artigo).

O modo em uso é escolhido por software e a arquitetura física (hardware) pode ser igual para os três modos. No entanto, dispositivos que operem unicamente no modo C não necessitam dos sensores, nem do RTC.

Em termos de monitorização as escolhas só são A e B, e dentro dos possíveis deve ser utilizado o modo A, porque tem um consumo energético inferior ao modo B. Este está idealizado para situações em que não é possível ativar o *advertise* pressionando o botão. Por exemplo, se o dispositivo vai dentro da embalagem, junto à mercadoria; ou se o dispositivo é fixado num animal, como uma ave ou um felino, pode não ser de todo possível pressionar o botão para ativar o *advertise*. Neste caso, o *advertise* vai estar a funcionar em modo contínuo, podendo a comunicação ser estabelecida a qualquer momento.

Na Fig. 1 encontram-se representados os procedimentos entre os atores do sistema. O cliente/remetente contrata o serviço com a prestadora de serviços de transporte. Para o efeito define as condições de transporte, que incluem os limites das variáveis relevantes e/ou prazos. A prestadora de serviço valida a possibilidade de prestar o serviço nas condições solicitadas, o que requer confirmar que há operadores para executarem todas as etapas do percurso, nas condições solicitadas, incluindo prazos, sejam transportadores propriamente dito, armazenistas ou outros.

Havendo acordo, é iniciado o processo onde se especificam as condições de transporte e informações descritivas (do dispositivo, mercadoria e das condições de transporte). É gerada uma chave que só o remetente deve ter acesso (posteriormente irá facultar essa chave ao destinatário). É uma chave para o prestador de serviço. Entre outras coisas, estas chaves prestam-se a consultar o histórico de registos da mercadoria, através do portal de acesso aos serviços na *cloud*. São chaves distintas, pois a informação facultada a cada uma das partes (prestador de serviço x remetente/destinatário) é distinta (a do prestador de serviço contém informações internas, sobre operadores). Como referido, a chave facultada ao remetente deve ser por

este facultada posteriormente ao destinatário, para que este possa formalmente rececionar a mercadoria.

São ainda gerados identificadores não públicos para o dispositivo, mercadoria, operadores, remetente e destinatário, bem como dois pares de chaves para encriptação assimétrica.

O RTC do dispositivo é reiniciado e é salvaguardada a hora universal GMT+0 em que tal ocorre.

Na Fig.2 estão representadas as características necessárias para o processo inicial de configuração, no que se designou de BLE Serviço de Configuração.

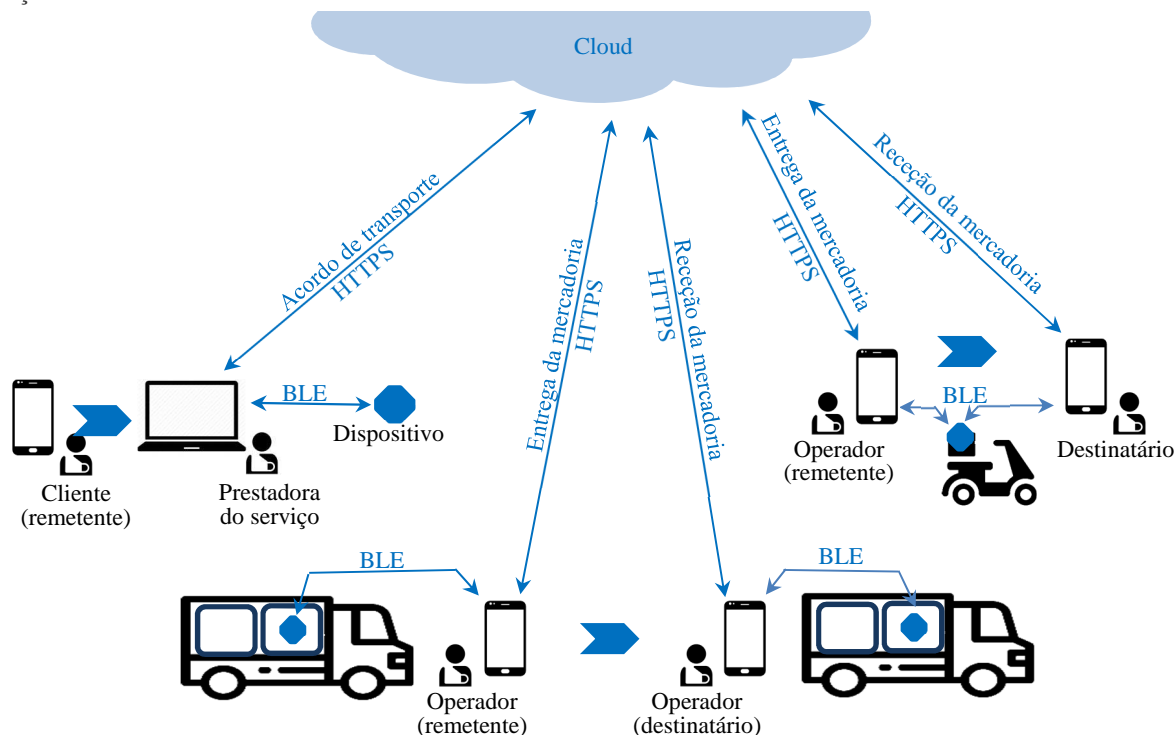


Fig. 1. Procedimento entre atores.

Prepara-se um dispositivo fazendo reiniciar (*reset*), o que ativará de imediato o modo de configuração com o serviço BLE concebido para o efeito.

No dispositivo ficam gravados: a chave pública do primeiro par; a chave privada do segundo par; os identificadores do dispositivo, mercadoria, do operador atual e do próximo operador; as condições de transporte; a informação descritiva; data/hora mais cedo (DMCE) e mais tarde da entrega (DMTE) da mercadoria ao próximo operador.

Em função da colocação do dispositivo na mercadoria, é também definido o modo de funcionamento do dispositivo e o estado. Este estado define a condição da mercadoria relativamente ao operador, e serve para controlar as ações que a cada momento devem estar disponíveis para os operadores executarem. No contexto deste artigo, este estado tem dois valores possíveis:

**RECECIONADO** – Que assinala que o operador rececionou a mercadoria;

**DEPOSITADO** – Que assinala que o operador depositou a mercadoria para esta ser rececionada pelo operador seguinte.

Para a *cloud* vão os identificadores; a chave privada do primeiro par, a chave pública do segundo par; a identificação de todos os operadores envolvidos no transporte pela ordem de intervenção, com as respetivas datas mais cedo e mais tarde para entrega da mercadoria ao operador seguinte, o tempo máximo após depósito/entrega que o operador seguinte tem para recolher a mercadoria e localização aproximada do local de transferência da mercadoria; e data universal do reinício do RTC.

O dispositivo é anexado à mercadoria na frente do cliente, com uma tranca física que uma vez removida despoleta o procedimento de entrega da mercadoria ao destinatário. E a partir daí começa a funcionar recolhendo desde logo dados, caso existam, de não conformidade.

Se a tranca de segurança for removida antes do tempo, o procedimento não será fechado ou será fechado em situação irregular, cabendo a responsabilidade por danos na mercadoria ou extravio da mesma, ao operador que tinha oficialmente a mercadoria em sua posse.

A qualquer momento, qualquer pessoa com a aplicação móvel instalada, pode ligar-se ao dispositivo desde que este esteja em modo *advertise*. E assim aceder à informação descritiva do dispositivo, da mercadoria, do operador atual

e do seguinte, das datas mais cedo e mais tarde de entrega da mercadoria e estado.

#### **BLE Serviço de Configuração:**

- Char 1: Chave publica (escrita)
- Char 2: Chave privada (escrita)
- Char 3: Identificador do dispositivo (escrita)
- Char 4: Descritivo do dispositivo (escrita)
- Char 5: Identificador mercadoria (escrita)
- Char 6: Descritivo da mercadoria (escrita)
- Char 7: Identificador do operador atual (escrita)
- Char 8: Descritivo do operador atual (escrita)
- Char 9: Identificador prox. operador (escrita)
- Char 10: Descritivo do prox. operador (escrita)
- Char 11: Condições de contrato (escrita)
- Char 12: DMCE + DMTE (escrita)
- Char 13: Estado do dispositivo (escrita)
- Char 14: Iniciar o RTC (escrita)

Fig. 2. Serviço BLE de configuração.

A informação descritiva da mercadoria não indica o conteúdo, mas informações genéricas que possam ser úteis. A Fig.2 descreve as características existentes para este efeito – integrando estas ao que se designou de Serviço de Acesso Aberto.

#### **BLE Serviço de Acesso Aberto:**

- Char 1: Descr. dispositivo (leitura)
- Char 2: Descr. mercadoria (leitura)
- Char 3: Descr. operador Atual (leitura)
- Char 4: Descr. próximo Operador (leitura)
- Char 5: DMCE + DMTE (leitura)
- Char 6: Condições de contrato (leitura)
- Char 7: Estado do dispositivo (leitura)
- Char 8: Autenticação (escrita)

Fig. 3. Serviço BLE de Acesso Aberto

O atual operador, aquando da entrega da mercadoria, faz o seu depósito físico, ativa o modo *advertise* (se necessário) e conecta o seu dispositivo móvel ao dispositivo de monitorização. A conexão despoleta um evento do lado do periférico que força a encriptar num único *token*, utilizando a chave pública, todos os identificadores, o tempo do RTC, o estado e as não conformidades (incluindo os tempos assinalados pelo RTC aquando da ocorrência das não conformidades).

Uma vez conectado, a aplicação móvel vai automaticamente ler as informações descritivas para visualização na aplicação móvel e o estado do dispositivo de monitorização. É com base neste último que se habilitam as ações possíveis de serem realizadas. Como a mercadoria foi dada como entregue ao atual operador, este terá agora disponível a ação de solicitar a entrega formal da mercadoria ao próximo operador (ou, seja o caso, ao destinatário).

Com isto é lido o *token* gerado no periférico, ao qual vai juntar a identificação do operador da aplicação móvel, a localização GPS obtida com os recursos do próprio dispositivo móvel e a identificação da ação executada. Encripta tudo novamente num segundo *token* com uma segunda chave pública obtida aquando da instalação e configuração da aplicação móvel (a respetiva chave privada está do lado do servidor). Esse *token* presta-se a autenticar no servidor todo o contexto, atualizar os registos de inconformidades e executar a ação solicitada.

O servidor descripta os *tokens* e confronta os dados facultados com os que possui, nomeadamente o tempo atual com o valor do RTC, a localização GPS com a expectável, e os identificadores. Sendo os *tokens* considerados válidos, os dados das não conformidades são registados e é gerado pelo servidor um terceiro *token*, utilizando a chave pública do segundo par de chaves e encriptando: a indicação de que se trata da resposta a um pedido de entrega de mercadoria; a identificação da mercadoria; o tempo decorrido desde que o RTC foi reiniciado; e a identificação do atual operador que está a solicitar a receção da mercadoria. Esse *token* é devolvido à aplicação móvel em sequência do pedido de entrega de mercadoria. A aplicação móvel usa o *token* para atualizar o estado do dispositivo de monitorização.

Qualquer operação que implique alterar valores no módulo de monitorização, a partir do Serviço BLE de Acesso Aberto, implica uma autenticação. A autenticação é feita com base no *token* que a aplicação móvel recebeu da *cloud*. O dispositivo de monitorização descompacta o *token*, utilizando a chave privada do segundo par de chaves, e compara identificadores, bem como o tempo facultado com o do RTC, e o estado. Sendo o *token* considerado válido, a autenticação é bem-sucedida. Depois, atendendo ao identificador do tipo de ação (neste caso, resposta a um pedido de entrega de mercadoria), realiza as respetivas operações, que neste caso é alterar o estado do dispositivo de RECECIONADO para DEPOSITADO.

O servidor na *cloud* regista que a mercadoria está dada como depositada e remete uma notificação para o operador seguinte, com o tempo máximo que este tem para proceder formalmente à receção da mercadoria.

De realçar que nem sempre a operação de entrega ocorre com a presença física da mercadoria, operador atual e operador seguinte, em resultado das condicionantes operacionais e físicas. Daí que a entrega e receção sejam dois atos separados.

O operador seguinte vai executar o mesmo procedimento de conexão, mas neste caso em resultado do estado do dispositivo, a ação disponível é de recepção da mercadoria. Executando esta opção, é remetido o segundo *token* para o serviço na *cloud*. Após validação do segundo *token*, e atendendo à ação a realizar, é gerado pelo servidor um terceiro *token*, com a chave pública do segundo par de chaves, contendo: a indicação de que se trata da resposta a um pedido de recepção de mercadoria; a identificação da mercadoria, o tempo decorrido desde que o RTC foi reiniciado, a identificação do atual operador (que está a solicitar a recepção da mercadoria), e a identificação, dados descritivos e datas mais cedo e mais tarde de entrega ao operador seguinte.

Esse *token* é devolvido à aplicação móvel em sequência do pedido de recepção, que o usa para se autenticar e atualizar o dispositivo de monitorização. O dispositivo descompacta o *token*, utilizando a chave privada do segundo par de chaves, e compara identificadores, bem como o tempo facultado com o do RTC, sendo o *token* considerado válido, move os registos do operador seguinte (o que está neste momento a solicitar a recepção) para os do operador atual e atualiza os registos do operador seguinte com os provenientes do *token*. Atualiza também o estado de DEPOSITADO para RECECIONADO.

Em ambas as situações, de entrega e recepção, a aplicação móvel, após os procedimentos, solicita o estado da mercadoria para que os operadores possam ter a percepção se houve ou não violação das condições de transporte. Dependendo das condições acordadas entre prestadores de serviço, o recetor poderá rejeitar a recepção em caso de existência de inconformidades.

A mercadoria vai assim passando de operador em operador, até chegar ao destinatário. Aqui ocorre o procedimento de entrega pelo último operador e a recepção formal da mercadoria pelo destinatário. Para o efeito, o operador, na presença do destinatário, solicita a operação de entrega definitiva, sendo-lhe solicitada a chave gerada aquando do contrato e entregue ao remetente. A operação poderá inclusive ser feita instalando a aplicação no telemóvel do destinatário, usando para efeito o mesmo código.

## V. CONCLUSÕES

A presente arquitetura possibilita uma solução de baixo custo de implementação e de utilização, para prestar serviços de transporte de mercadorias delicadas com garantia das condições contratualizadas. Arquitetura esta que é suficientemente genérica para ser aplicada nos mais variados contextos e desenvolvida na perspetiva da salvaguarda dos interesses do cliente, mas igualmente relevante para controlo interno dos prestadores de serviços. Permitindo prestar um serviço de maior valor-acrescentado, que é de todo pertinente no contexto atual do comércio global.

De realçar que, não permitindo esta solução reportar as não conformidades em tempo real, permite que estas sejam reportadas sempre que há transferência de responsabilidade, havendo assim uma clara e imediata identificação de quem não cumpre.

Mesmo sem recurso a canais de comunicação de abrangência global, a arquitetura apresentada consegue efetuar a monitorização e reportar os dados, em tempo útil, simplesmente com recurso a BLE e a convencionais smartphones/tablets, funcionando em qualquer parte.

Acresce que, com a solução técnica e tecnologias propostas, uma simples bateria do tipo CR2032, pode durar anos, provavelmente para lá da vida útil do próprio dispositivo.

O custo da adoção de uma solução deste tipo requer essencialmente a aquisição dos dispositivos de monitorização por parte da empresa que presta o serviço de transporte. Dispositivos estes que, conforme explicado, utilizam tecnologias economicamente acessíveis. Tendo por base o Bill Of Material do protótipo, e a experiência que os autores têm no desenvolvimento deste tipo de soluções, é realista pensar que o custo de produção possa ficar abaixo dos \$10.

Todos os demais operadores apenas necessitam de ter um convencional smartphone/tablet, com a aplicação instalada e com acesso a comunicações de dados. Não há assim investimentos estruturais de elevado valor, podendo inclusive a aquisição dos dispositivos de monitorização ser feita gradualmente.

Em termos operacionais, os operadores têm os custos com a comunicação de dados e com a operacionalização do protocolo, mas em compensação prestam um serviço de maior-valor (podendo cobrar mais por isso).

A empresa prestadora do serviço ao cliente final, terá como custos operacionais o acesso aos serviços da *cloud*, que devem ser facultados por uma entidade que não a própria prestadora de serviços, para não colocar em causa a veracidade dos dados e do processo.

O cliente e demais operacionais ficam com a certeza de que o transporte foi (ou não) efetuado conforme acordado; e em caso de não cumprimento, é totalmente possível identificar quem foram os incumpridores e, assim, apurar responsabilidades. Isto é particularmente pertinente, quando os danos não são de imediato identificáveis na mercadoria.

Os autores acreditam que os requisitos definidos para a solução encontram par nas necessidades do mercado e que, não obstante se prestar ao interesse de todos os envolvidos, está desenhada na perspetiva de quem efetivamente paga – o cliente.

A arquitetura em fase avançada de prototipagem e submetida a vários testes funcionais e de validação técnica em cenários controlados e devidamente caracterizados e identificados.

Foram já identificadas várias outras vertentes, que visam lidar com situações mais específicas e que permitem

inclusive prestar outros serviços de igual pertinência, estando alguns já em fase de concepção.

Presentemente, os autores estão a especificar estrutura da *cloud*, tendo por base tecnologia de *blockchains* e *smart contracts*.

- [1] ITF. Key transport statistics, 2019. Available online: <https://www.itf-oecd.org/key-transport-statistics-2019-2018-data> (accessed on 12 July 2020).
- [2] Beef Report - Brazilian Livestock Profile 2020 - ABIEC, 2020, pp. 33.
- [3] Ambrosus - <https://ambrosus.com> (05/09/2020)
- [4] K. Christidis and M. Devetsikiotis, "Blockchains and Smart Contracts for the Internet of Things," in IEEE Access, vol. 4, pp. 2292-2303, 2016, doi: 10.1109/ACCESS.2016.2566339.
- [5] S. Huh, S. Cho and S. Kim, "Managing IoT devices using blockchain platform," 2017 19th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT), Bongpyeong, 2017, pp. 464-467, doi: 10.23919/ICACT.2017.7890132.
- [6] Gavin Wood, Ethereum: A secure decentralised generalised transaction ledger EIP-150 REVISION (759dcd - 2017-08-07), 2017, Publication Title: Ethereum Project Yellow Paper, <https://ethereum.github.io/yellowpaper/paper.pdf>
- [7] Vitalik Buterin, Ethereum: A next-generation smart contract and decentralized application platform, 2014, <https://github.com/ethereum/wiki/wiki/White-Paper>
- [8] Sergei Tikhomirov, Ethereum: state of knowledge and research perspectives, 2017, <http://orbilu.uni.lu/bitstream/10993/32468/1/ethereum-sok.pdf>
- [9] J. M. Montes, C. E. Ramirez, M. C. Gutierrez and V. M. Larios, "Smart Contracts for supply chain applicable to Smart Cities daily operations," 2019 IEEE International Smart Cities Conference (ISC2), Casablanca, Morocco, 2019, pp. 565-570, doi: 10.1109/ISC246665.2019.9071650.
- [10] S. Wang, L. Ouyang, Y. Yuan, X. Ni, X. Han and F. Wang, "Blockchain-Enabled Smart Contracts: Architecture, Applications, and Future Trends," in IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, vol. 49, no. 11, pp. 2266-2277, Nov. 2019, doi: 10.1109/TSMC.2019.2895123.
- [11] ModSense One - <https://modum.io/solutions/modsense-one> (05/09/2020)
- [12] Roambee - <https://www.roambee.com/shipment-monitoring/> (05/09/2020)
- [13] Bluetooth SI. Specification of the Bluetooth System-Covered Core Package version: 4.0. Bluetooth SIG. 2010.
- [14] Bluetooth SI. Bluetooth Core Specification: 5.2. Bluetooth SIG. 31/12/2019.
- [15] R. Ratasuk, N. Mangalvedhe, A. Ghosh and B. Vejlgaard, "Narrowband LTE-M System for M2M Communication," 2014 IEEE 80th Vehicular Technology Conference (VTC2014-Fall), Vancouver, BC, 2014, pp. 1-5, doi: 10.1109/VTCFall.2014.6966070.
- [16] A. Khalifeh, K. A. Aldahdouh, K. A. Darabkh and W. Al-Sit, "A Survey of 5G Emerging Wireless Technologies Featuring LoRaWAN, Sigfox, NB-IoT and LTE-M," 2019 International Conference on Wireless Communications Signal Processing and Networking (WiSPNET), Chennai, India, 2019, pp. 561-566, doi: 10.1109/WiSPNET45539.2019.9032817.
- [17] A. D. Zayas and P. Merino, "The 3GPP NB-IoT system architecture for the Internet of Things," 2017 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC Workshops), Paris, 2017, pp. 277-282, doi: 10.1109/ICCW.2017.7962670.
- [18] Y. -. E. Wang et al., "A Primer on 3GPP Narrowband Internet of Things," in IEEE Communications Magazine, vol. 55, no. 3, pp. 117-123, March 2017, doi: 10.1109/MCOM.2017.1600510CM.
- [19] J. Chen, K. Hu, Q. Wang, Y. Sun, Z. Shi and S. He, "Narrowband Internet of Things: Implementations and Applications," in IEEE Internet of Things Journal, vol. 4, no. 6, pp. 2309-2314, Dec. 2017, doi: 10.1109/JIOT.2017.2764475.
- [20] M. Chen, Y. Miao, Y. Hao and K. Hwang, "Narrow Band Internet of Things," in IEEE Access, vol. 5, pp. 20557-20577, 2017, doi: 10.1109/ACCESS.2017.2751586.
- [21] Cellular vs. Satellite: Understanding the Differences, Global Data Systems, <https://www.getgds.com/resources/blog/connectivity/cellular-vs-satellite-understanding-the-differences>, (05/09/2020)
- [22] T. S. Rappaport et al., "Wireless Communications and Applications Above 100 GHz: Opportunities and Challenges for 6G and Beyond," in IEEE Access, vol. 7, pp. 78729-78757, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2921522.
- [23] K. B. Letaief, W. Chen, Y. Shi, J. Zhang and Y. A. Zhang, "The Roadmap to 6G: AI Empowered Wireless Networks," in IEEE Communications Magazine, vol. 57, no. 8, pp. 84-90, August 2019, doi: 10.1109/MCOM.2019.1900271.
- [24] P. Yang, Y. Xiao, M. Xiao and S. Li, "6G Wireless Communications: Vision and Potential Techniques," in IEEE Network, vol. 33, no. 4, pp. 70-75, July/August 2019, doi: 10.1109/MNET.2019.1800418.
- [25] Liu, J.; Chen, C.; Ma, Y.; Xu, Y. Energy Analysis of Device Discovery for Bluetooth Low Energy, Proceedings of IEEE 77<sup>th</sup> Vehicular Technology International Conference, Dresden, Germany, September, 2013
- [26] Siva, J.; Yang, J.; Poellabauer, C. Connection-less BLE Performance Evaluation on Smartphones, Proceedings of The 16th International Conference on Mobile Systems and Pervasive Computing (MobiSPC 2019), Halifax, Canada, August, 2019, pp. 51-58.
- [27] Siekkinen, M.; Hienkari, M.; Nurminen, J. K.; Nieminen, J. How low energy is bluetooth low energy? Comparative measurements with ZigBee/802.15.4, 2012 IEEE Wireless Communications and Networking Conference Workshops (WCNCW), Paris, 2012, pp. 232-237.
- [28] Czurak, P.; Maj, C.; Szermer, M.; Zabierowski, W., Impact of Bluetooth low energy on energy consumption in Android OS, 2018 XIV-th International Conference on Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH), Lviv, 2018, pp. 255-258.
- [29] Sikora, A.; Krzysztóń, M.; Marks, M. Application of Bluetooth low energy protocol for communication in mobile networks, 2018 International Conference on Military Communications and Information Systems (ICMCIS), Warsaw, 2018, pp. 1-6.
- [30] Zhang, Y.; Weng, J.; Dey, R.; Fu, X. Bluetooth Low Energy (BLE) Security and Privacy. In: Shen X., Lin X., Zhang K. (eds) Encyclopedia of Wireless Networks. 2019, Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-32903-1\\_298-1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-32903-1_298-1).
- [31] nRF52832 Product Specification v1.4, Nordic Semiconductors, 2017.