

Capítulo 4

Samuel Lopes da Mota

- 1 LTE—An Overview
- 2 TE Release - Basic Radio Access
- 3 LTE Evolution
- 4 Spectrum Flexibility
- 5 MultiAntenna Enhancements
- 6 Densification, Small Cells, and Heterogeneous Deployments
- 7 Device Enhancements
- 8 Referências



LTE—An Overview

- Tanto o LTE quanto o NR foram desenvolvidos pelo 3GPP e, portanto, têm um histórico comum e compartilham vários componentes tecnológicos. Muitas das opções de design em NR também são baseadas na experiência do LTE.
- Além disso, o LTE continua a evoluir em paralelo com o NR e é uma componente importante no acesso rádio 5G.
- O trabalho em LTE foi iniciado no final de 2004 com o objetivo geral de fornecer uma nova tecnologia de acesso por rádio focada apenas em dados comutados por pacotes.
primeira versão das especificações LTE, versão 8, foi concluída em 2009 e a operação da rede comercial começou no final de 2009.
- Os lançamentos 10 e 13 são particularmente interessantes. A versão 10 é a primeira versão do LTE Advanced e a versão 13, finalizada no início de 2016, é a primeira versão do LTE Advanced Pro.

TE Release - Basic Radio Access

- A versão 8 é a primeira versão LTE e forma a base para todas as versões LTE seguintes. Paralelamente ao esquema de acesso por rádio LTE, foi desenvolvida uma nova rede central, o Evolved Packet Core (EPC).
- Um requisito importante imposto ao desenvolvimento do LTE foi a flexibilidade do espectro. Uma gama de larguras de banda de portadora até e incluindo 20 MHz é suportada para frequências de portadora abaixo de 1 GHz até cerca de 3 GHz.
- Um aspecto da flexibilidade do espectro é o suporte de espectro emparelhado e não emparelhado usando Frequency-Division Duplex (FDD) e Time-Division Duplex (TDD).
- O foco do trabalho de desenvolvimento foi principalmente redes macro de área ampla com antenas acima do telhado e células relativamente grandes.

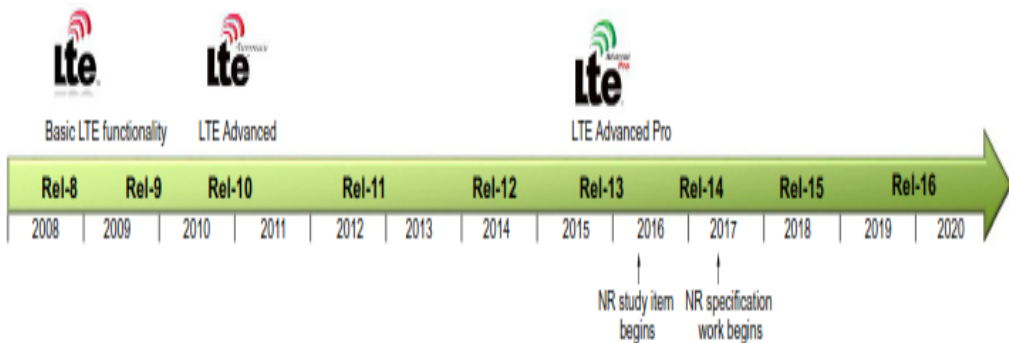
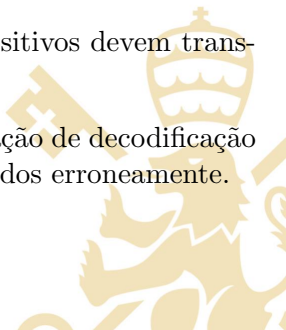


Fig. 4.1 LTE and its evolution.

- O esquema básico de transmissão em LTE é a multiplexação ortogonal por divisão de frequência (OFDM).
- Esta é uma escolha atraente devido à sua robustez à dispersão no tempo e facilidade de explorar o domínio do tempo e da frequência.
- Além disso, também permite uma complexidade razoável do receptor também em combinação com multiplexação espacial (MIMO), que é uma parte inerente do LTE.
- Como o LTE foi projetado principalmente com redes macro em mente com frequências de portadora de até alguns GHz, um único espaçamento de subportadora de 15 kHz e um prefixo cíclico de aproximadamente $4,7 \mu\text{s}$ foi considerado uma boa escolha.
- No total, 1.200 subportadoras são usadas em uma alocação de espectro de 20 MHz.

- A densidade do sinal de referência depende do número de camadas de transmissão configuradas em uma célula, mas para o caso comum de 2x2 MIMO, cada terceira subportadora em quatro dos 14 símbolos OFDM em um subquadro são usados para sinal de referência.
- A transmissão de dados em LTE é programada principalmente de forma dinâmica tanto no uplink quanto no downlink. Para explorar as condições de rádio que variam rapidamente, pode ser usada a programação dependente do canal.
- Para cada subquadro de 1 ms, o escalonador controla quais dispositivos devem transmitir ou receber e em quais recursos de frequência.
- Na recepção do downlink, o dispositivo indica o resultado da operação de decodificação para a estação base, que pode retransmitir blocos de dados recebidos erroneamente.

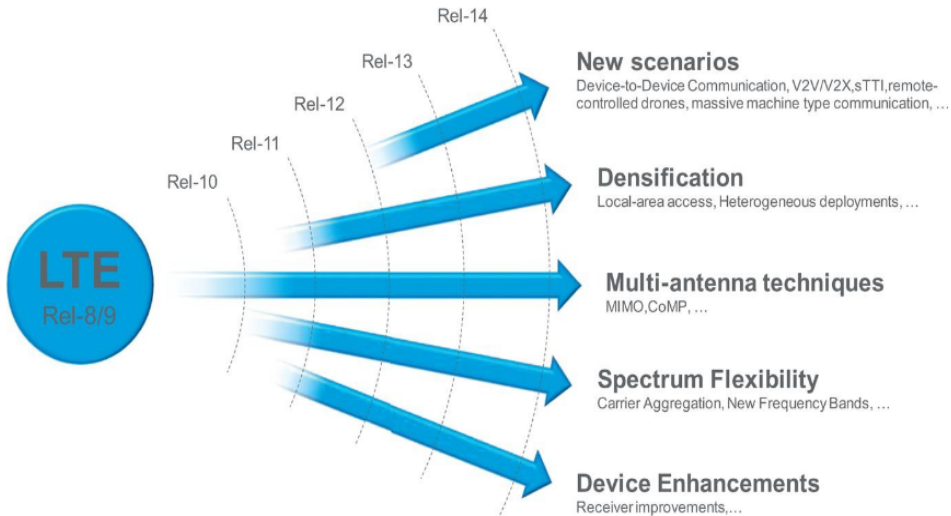


- Os esquemas de múltiplas antenas e, em particular, o MIMO de usuário único, são partes integrantes do LTE. Um número de camadas de transmissão é mapeado para até quatro antenas por meio de uma matriz pré-codificadora de tamanho $N_a \times N_l$, onde o número de camadas N_l , também conhecido como rank de transmissão, é menor ou igual ao número de antenas N_a .
- O LTE versão 8 é, em teoria, capaz de fornecer taxas de dados de pico de até 150 Mbit/s no downlink usando transmissão de duas camadas em 20 MHz e 75 Mbit/s no uplink.

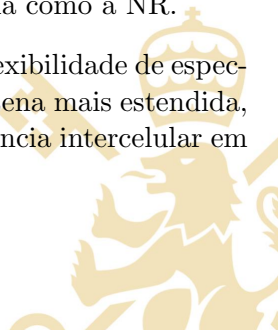


- As versões 8 e 9 formam a base do LTE, fornecendo um padrão de banda larga móvel altamente capaz. No entanto, para atender a novos requisitos e expectativas, os releases seguintes aos básicos fornecem aprimoramentos e recursos adicionais em diferentes áreas.
- A Fig. 4.2 ilustra algumas das principais áreas nas quais o LTE evoluiu ao longo dos 10 anos desde sua introdução, com detalhes fornecidos a seguir.

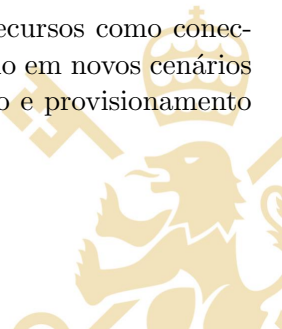




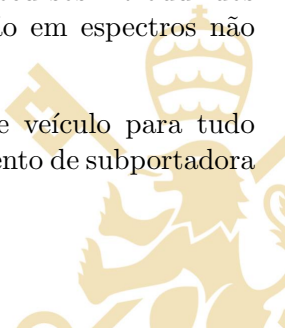
- A versão 10 marca o início da evolução LTE. Um dos principais objetivos do LTE versão 10 era garantir que a tecnologia de acesso por rádio LTE fosse totalmente compatível com os requisitos IMT-Advanced, portanto, o nome LTE-Advanced é frequentemente usado para LTE versão 10 e posteriores.
- O princípio da compatibilidade com versões anteriores é importante e foi mantido para todas as versões LTE, mas também impõe algumas restrições nas melhorias possíveis.
- Restrições que não estão presentes na definição de uma nova norma como a NR.
- O LTE versão 10 foi concluído no final de 2010 e introduziu maior flexibilidade de espectro LTE por meio de agregação de operadora, transmissão multiantena mais estendida, suporte para retransmissão e melhorias na coordenação de interferência intercelular em implantações de rede heterogênea.



- A versão 11 ampliou ainda mais o desempenho e as capacidades do LTE. Um dos recursos mais notáveis do LTE versão 11, finalizado no final de 2012, foi a funcionalidade de interface de rádio para transmissão e recepção multiponto coordenada (CoMP).
- Outros exemplos de melhorias na versão 11 foram aprimoramentos de agregação de portadora, uma nova estrutura de canal de controle (EPDCCH) e requisitos de desempenho para receptores de dispositivos mais avançados.
- A versão 12 foi concluída em 2014 e focada em small cells com recursos como conectividade dupla, small-cell on/off e TDD (semi-)dinâmico, bem como em novos cenários com introdução de comunicação direta de dispositivo a dispositivo e provisionamento de comunicação do tipo máquina de complexidade reduzida.



- A versão 13, finalizada no final de 2015, marca o início do LTE Advanced Pro. Muitas vezes apelidado por 4.5G.
- O acesso assistido por licença para dar suporte a espectros não licenciados como um complemento aos espectros licenciados, suporte aprimorado para comunicação de tipo de máquina e vários aprimoramentos na agregação de operadora, transmissão multi-antena e comunicação dispositivo a dispositivo são alguns dos destaques da versão 13.
- A versão 14 em 2017. Além de aprimoramentos em alguns dos recursos introduzidos em versões anteriores, por exemplo, aprimoramentos na operação em espectros não licenciados.
- Introduziu, também, suporte para veículo para veículo (V2V) e veículo para tudo (V2X), bem como suporte a broadcast de área ampla com espaçamento de subportadora reduzido.

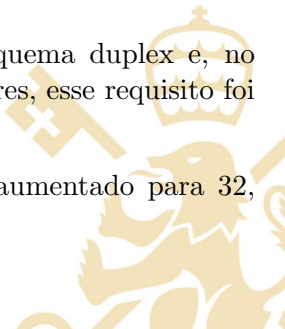


- A versão 15 foi concluída em meados de 2018. Latência significativamente reduzida por meio do chamado recurso sTTI, bem como comunicação usando antenas, são dois exemplos de aprimoramentos nesta versão.
- Em geral, a expansão do LTE para novos casos de uso além da banda larga móvel tradicional tem sido o foco dos lançamentos posteriores e a evolução continuará também no futuro.
- Esta também é uma parte importante do 5G em geral e exemplifica que o LTE continua sendo importante e uma parte vital do acesso de rádio 5G geral.

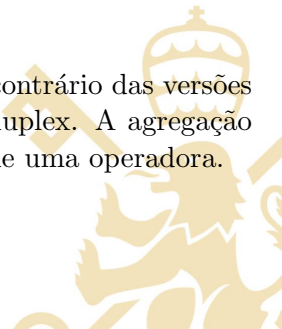


Spectrum Flexibility

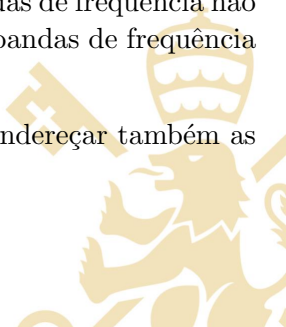
- Com o LTE versão 10, a largura de banda de transmissão pode ser estendida ainda mais por meio de agregação de operadora (CA), onde várias operadoras de componentes são agregadas e usadas em conjunto para transmissão de/para um único dispositivo.
- Até cinco portadoras de componentes, possivelmente cada uma com largura de banda diferente, podem ser agregadas na versão 10, permitindo larguras de banda de transmissão de até 100 MHz.
- Todos os portadores de componentes precisam ter o mesmo esquema duplex e, no caso de TDD, configuração uplink-downlink. Em versões posteriores, esse requisito foi relaxado.
- O número de portadoras componentes possíveis de agregar foi aumentado para 32, resultando em uma largura de banda total de 640 MHz.



- As operadoras com um espectro fragmentado podem fornecer serviços de alta taxa de dados com base na disponibilidade de uma ampla largura de banda geral, mesmo que não possuam uma única alocação de espectro de banda larga.
- A versão 11 forneceu flexibilidade adicional para agregação de operadoras TDD.
- Um aspecto interessante da agregação de diferentes alocações downlink-uplink é que o dispositivo pode precisar receber e transmitir simultaneamente para utilizar totalmente ambas as operadoras.
- A versão 12 definiu agregações entre operadoras FDD e TDD, ao contrário das versões anteriores que suportavam apenas agregação dentro de um tipo duplex. A agregação FDD– TDD permite a utilização eficiente dos ativos de espectro de uma operadora.



- A versão 13 aumentou o número de portadoras possíveis de agregar de 5 para 32, resultando em uma largura de banda máxima de 640 MHz e uma taxa de dados máxima teórica em torno de 25 Gbit/s no downlink.
- A agregação de operadora é um dos aprimoramentos mais bem-sucedidos do LTE até o momento, com novas combinações de banda de frequência adicionadas a cada versão.
- LTE - versão 13 introduziu o acesso assistido por licença, onde a estrutura de agregação de operadora é usada para agregar operadoras de downlink em bandas de frequência não licenciadas, principalmente na faixa de GHz, com operadoras em bandas de frequência licenciadas conforme ilustrado na Fig. 4.4.
- Na versão 14, o acesso assistido por licença foi aprimorado para endereçar também as transmissões de uplink.



Primary Carrier
Licensed Spectrum

Secondary Carrier
Unlicensed Spectrum

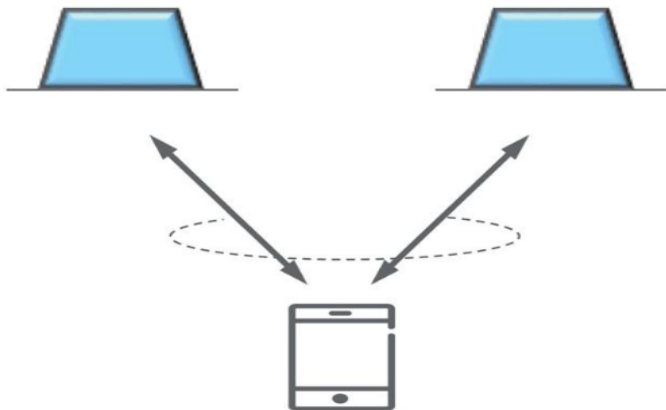


FIGURE 4.4 License-assisted access.

MultiAntenna Enhancements

- A multiplexação espacial de uplink de até quatro camadas também foi introduzida como parte do LTE versão 10. Juntamente com a possibilidade de agregações de portadoras de uplink, isso permite taxas de dados de uplink de até 1,5 Gbit/s em 100 MHz de espectro.
- A multiplexação espacial de uplink consiste em um esquema baseado em livro de código sob o controle da estação base, o que significa que a estrutura também pode ser usada para formação de feixe do lado do transmissor de uplink.
- A primeira versão do LTE incluiu suporte específico para coordenação entre pontos de transmissão, referido como InterCell Interference Coordination (ICIC), para controlar a interferência entre as células.
-



- O release 11 concentrava as atividades em recursos de interface de rádio e funcionalidade de dispositivo para auxiliar diferentes meios de coordenação, incluindo o suporte para canalização e realimentação de estado para múltiplos pontos de transmissão. Juntos, esses recursos e funcionalidades estão sob o nome de transmissão/recepção Coordenada MultiPoint (CoMP).

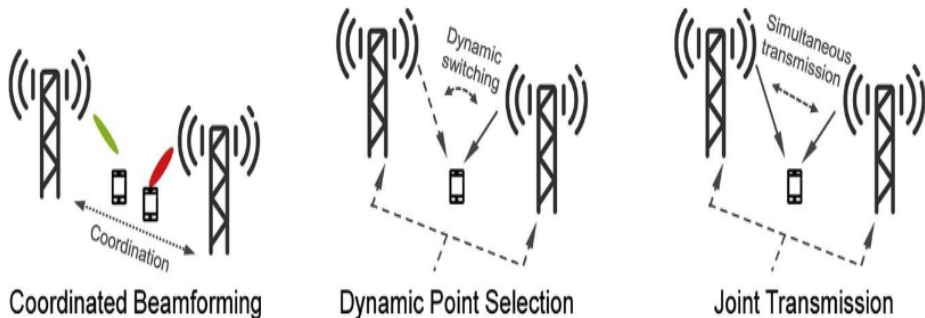
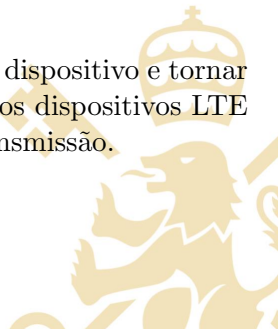


FIGURE 4.5 Different types of CoMP.

Densification, Small Cells, and Heterogeneous Deployments

- No contexto do LTE, a retransmissão implica que o dispositivo se comunique com a rede por meio de um nó de retransmissão conectado sem fio a uma célula doadora usando a tecnologia de interface de rádio LTE (consulte a Fig. 4.6).
- Do ponto de vista do dispositivo, o nó de retransmissão aparecerá como uma célula comum.
- Isso tem a importante vantagem de simplificar a implementação do dispositivo e tornar o nó de retransmissão compatível com versões anteriores, ou seja, os dispositivos LTE versão 8/9 também podem acessar a rede por meio do nó de retransmissão.



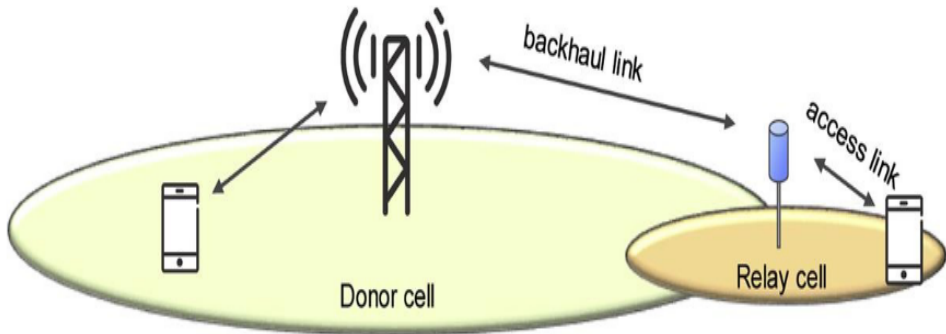


FIGURE 4.6 Example of relaying.

- Implantações heterogêneas referem-se a implantações com uma mistura de nós de rede com potência de transmissão diferente e cobertura geográfica sobreposta (Fig. 4.7).
- Embora tais implantações já fossem suportadas na versão 8, a versão 10 introduziu novos meios para lidar com a interferência entre camadas que pode ocorrer entre, por exemplo, uma camada pico e a macro sobreposta.



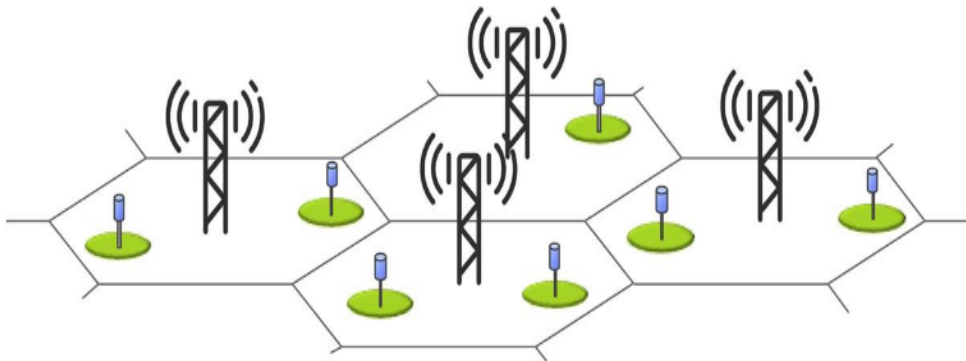


FIGURE 4.7 Example of heterogeneous deployment with low-power nodes inside macro cells.

- No LTE, as células estão transmitindo continuamente sinais de referência específicos da célula e transmitindo informações do sistema, independentemente da atividade de tráfego na célula.
- Uma razão para isso é permitir que os dispositivos em modo inativo detectem a presença de uma célula
- Em uma implantação densa com muitas células relativamente pequenas, a probabilidade de nem todas as células atenderem ao dispositivo ao mesmo tempo pode ser relativamente alta em alguns cenários.
- Para resolver isso, a versão 12 introduziu mecanismos para ligar/desligar células individuais em função da situação do tráfego para reduzir a interferência intercelular média e reduzir o consumo de energia



- A conectividade dupla implica que um dispositivo está conectado simultaneamente a duas células, consulte a Fig. 4.8, em oposição ao caso de linha de base com o dispositivo conectado a apenas um único dispositivo.
- É essencial para o NR ao operar em modo não autônomo com LTE, proporcionando mobilidade e acesso inicial.



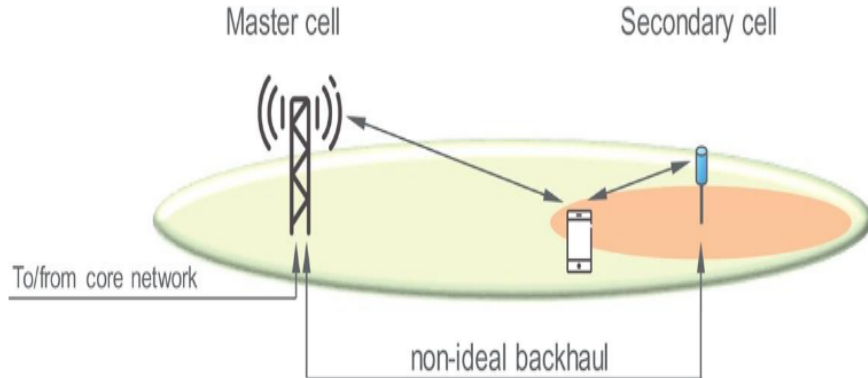


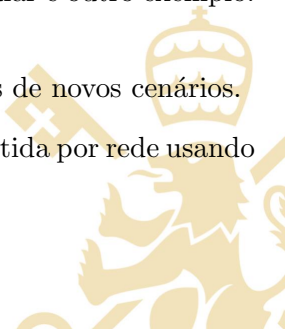
FIGURE 4.8 Example of dual connectivity.

- No TDD dinâmico, a rede pode usar recursos dinamicamente para transmissões de uplink ou downlink para corresponder à situação de tráfego instantâneo, o que leva a uma melhoria do desempenho do usuário final em comparação com a divisão estática convencional de recursos entre uplink e downlink.
- Para lidar melhor com a dinâmica de alto tráfego em um cenário de área local, onde o número de dispositivos transmitindo/recebendo de um nó de acesso de área local pode ser muito pequeno, o TDD dinâmico é benéfico.



Device Enhancements

- A evolução do LTE adicionou recursos que melhoram a capacidade e as taxas de dados, mas também aprimoramentos que tornam o LTE altamente relevante também para novos casos de uso.
- A comunicação massiva do tipo máquina, onde um grande número de dispositivos de baixo custo, por exemplo, sensores, são conectados a uma rede celular é outro exemplo.
- V2V/V2X e drones controlados remotamente são outros exemplos de novos cenários.
- A versão 12 introduziu a comunicação dispositivo a dispositivo assistida por rede usando partes do espectro de uplink (Fig. 4.9).



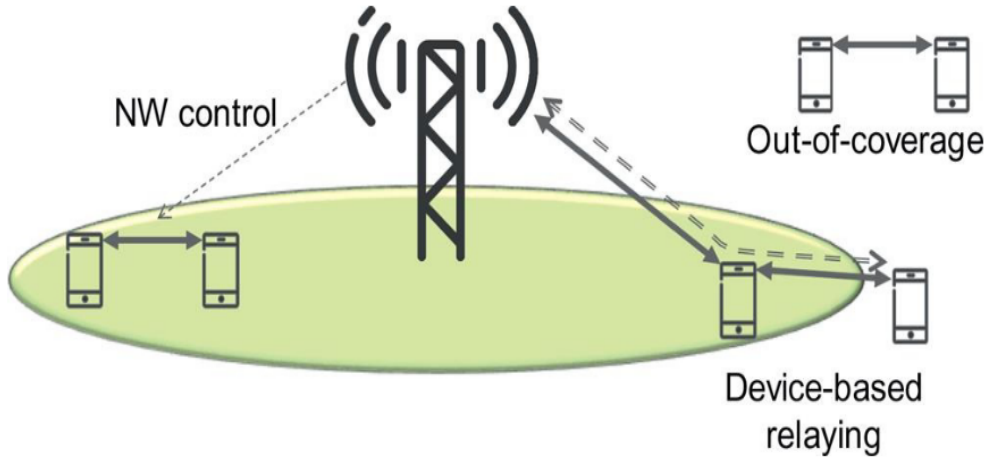
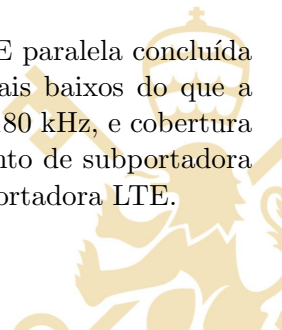
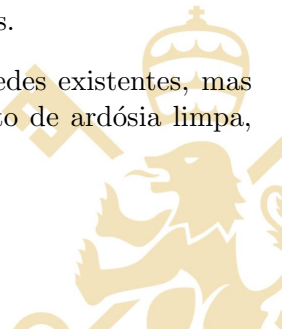


FIGURE 4.9 Device-to-device communication.

- Dois cenários foram considerados ao desenvolver os aprimoramentos de dispositivo a dispositivo, na comunicação de cobertura e fora da cobertura para segurança pública e na descoberta de cobertura de dispositivos vizinhos para casos de uso comercial.
- Na versão 13, a comunicação dispositivo a dispositivo foi aprimorada ainda mais com soluções de retransmissão para cobertura estendida.
- O design de dispositivo para dispositivo também serviu como base para o trabalho V2V e V2X na versão 14.
- A Internet das coisas de banda estreita (NB-IoT) é uma faixa LTE paralela concluída na versão 13. Tem como alvo custos e taxas de dados ainda mais baixos do que a categoria M1, 250 kbit/s ou menos, em uma largura de banda de 180 kHz, e cobertura ainda mais aprimorada. Graças ao uso de OFDM com espaçamento de subportadora de 15 kHz, ele pode ser implantado dentro da banda sobre uma portadora LTE.



- Na versão 15, o trabalho para reduzir a latência geral foi realizado, resultando no chamado recurso de TTI curto (sTTI).
- O objetivo desse recurso é fornecer latência muito baixa para casos de uso em que isso é importante, por exemplo, automação de fábrica.
- Ele usa técnicas semelhantes às usadas em NR, como uma duração de transmissão de alguns símbolos OFDM e atraso reduzido no processamento do dispositivo, mas incorporado ao LTE de maneira compatível com versões anteriores.
- Isso permite que serviços de baixa latência sejam incluídos em redes existentes, mas também implica certas limitações em comparação com um projeto de ardósia limpa, como NR.



- DAHLMAN, Erik; PARKVALL, Stefan; SKOLD, Johan. 5G NR: The next generation wireless access technology. Academic Press, 2020.





Duas coisas são infinitas: o universo
e a estupidez humana. Mas, no que
respeita ao universo, ainda não
adquiri a certeza absoluta.

— Albert Einstein

