

# Aula 13 – Introdução às Redes LPWAN (Low-Power Wide-Area Network)

Imagine um mundo onde cada objeto, do seu relógio ao semáforo da esquina, passando por sensores em plantações e medidores de energia, pudesse se comunicar e compartilhar dados. Essa é a promessa da Internet das Coisas (IoT), um universo de bilhões de dispositivos conectados. No entanto, conectar tantos "objetos" de forma eficiente e sustentável apresenta um desafio monumental: como garantir que eles possam transmitir informações por longas distâncias, usando pouca energia e a um custo razoável?

É nesse cenário que as Redes LPWAN (Low-Power Wide-Area Network) emergem como uma solução revolucionária. Elas não são apenas mais um tipo de rede; são a espinha dorsal que permite que a IoT de fato alcance seu potencial, conectando dispositivos que antes seriam inviáveis de integrar devido às limitações de alcance, bateria ou custo das tecnologias de comunicação tradicionais. Compreender as LPWANs é essencial para qualquer profissional que deseje atuar no desenvolvimento e implementação de soluções IoT, desde a automação industrial até cidades inteligentes.

Ao longo desta aula, você será capaz de identificar o papel crucial das LPWANs no ecossistema IoT, compreender o famoso "trilema da conectividade" e analisar como diferentes tecnologias LPWAN buscam equilibrar esses desafios. Exploraremos as principais opções do mercado, como LoRaWAN, NB-IoT e LTE-M, e discutiremos as tendências que moldam o futuro dessas redes, como o Edge Computing e o protocolo Matter. Prepare-se para desvendar os segredos da conectividade de longo alcance e baixo consumo que impulsiona a próxima geração de inovações.

# O Que São Redes LPWAN e Por Que São Necessárias?

No coração da revolução da Internet das Coisas (IoT), encontramos uma necessidade fundamental: a capacidade de conectar uma vasta quantidade de dispositivos, muitas vezes simples e com recursos limitados, a grandes distâncias e com o mínimo consumo de energia. Pense, por exemplo, em um sensor de temperatura em uma fazenda remota ou um medidor de água em um bairro distante, que precisam enviar pequenos pacotes de dados periodicamente. As redes tradicionais, como Wi-Fi ou 4G/5G, embora poderosas, são frequentemente superdimensionadas e caras para essas aplicações, consumindo muita energia e exigindo infraestruturas complexas.

É aqui que as Redes LPWAN (Low-Power Wide-Area Network) entram em cena. Elas são projetadas especificamente para atender a esse nicho, oferecendo conectividade de longo alcance (Wide-Area) com um consumo de energia extremamente baixo (Low-Power). Isso significa que dispositivos podem operar por anos com uma única bateria, reduzindo drasticamente os custos de manutenção e tornando a implantação de IoT em larga escala economicamente viável. Sem as LPWANs, muitos dos cenários de aplicação da IoT que hoje consideramos comuns seriam simplesmente impraticáveis.

Imagine que você tem uma frota de bicicletas de aluguel espalhadas por uma cidade. Cada bicicleta precisa reportar sua localização e status. Usar 4G para cada uma seria caríssimo e drenaria a bateria rapidamente. Wi-Fi não teria o alcance necessário. Uma LPWAN, por outro lado, permite que cada bicicleta envie seus dados de forma eficiente, garantindo que a bateria dure meses ou até anos, e que a cobertura seja ampla o suficiente para toda a área urbana. Essa capacidade de conectar o "último quilômetro" de forma eficiente é o que torna as LPWANs indispensáveis para a verdadeira democratização da IoT.

## Vantagens das LPWANs

- **Longo alcance:** Cobertura de quilômetros
- **Baixo consumo:** Bateria dura anos
- **Custo reduzido:** Viabilidade econômica
- **Escalabilidade:** Milhares de dispositivos

# O Trilema da Conectividade IoT: Alcance, Consumo de Energia e Taxa de Dados

Conectar dispositivos IoT não é uma tarefa simples; é um malabarismo constante entre três fatores cruciais que raramente se complementam: o alcance da comunicação, o consumo de energia do dispositivo e a taxa de dados que ele pode transmitir. Este é o que chamamos de "**trilema da conectividade IoT**". Redes de alta velocidade, como o 5G, oferecem taxas de dados elevadas, mas geralmente exigem mais energia e têm um alcance limitado por célula. Por outro lado, tecnologias de longo alcance muitas vezes sacrificam a taxa de dados ou o consumo de energia.

## Alcance

Distância que o sinal pode percorrer

## Consumo de Energia

Quanto de bateria é necessário

## Taxa de Dados

Volume de informação transmitida

Pense nisso como um jogo de "pedra, papel e tesoura" da conectividade. Se você prioriza um, os outros dois tendem a sofrer. Por exemplo, uma rede Wi-Fi oferece alta taxa de dados, mas seu alcance é limitado e, para dispositivos alimentados por bateria, o consumo pode ser proibitivo. Já uma comunicação via satélite pode ter alcance global, mas a taxa de dados é geralmente baixa e o consumo de energia, alto. O desafio para as LPWANs é encontrar um ponto de equilíbrio que seja otimizado para as necessidades específicas da maioria das aplicações IoT.

As redes LPWAN foram projetadas para resolver esse trilema, focando em **maximizar o alcance e minimizar o consumo de energia**, mesmo que isso signifique aceitar taxas de dados relativamente baixas.

Para a maioria dos sensores IoT, que enviam apenas pequenos pacotes de dados (como temperatura, umidade, status on/off) poucas vezes ao dia, essa é uma troca perfeitamente aceitável e, na verdade, desejável. É como ter um mensageiro que pode viajar muito longe com uma mochila leve e pouca comida, mas que não consegue carregar uma biblioteca inteira de uma vez.

# Desvendando o Trilema: Como as LPWANs Encontram o Equilíbrio

Para entender como as LPWANs conseguem essa proeza de longo alcance e baixo consumo, é preciso mergulhar um pouco mais fundo na engenharia por trás delas. A chave está em otimizar cada aspecto da comunicação para a eficiência, em vez da velocidade bruta. Elas utilizam modulações de rádio que são robustas contra ruídos e interferências, permitindo que os sinais viajem por distâncias maiores com menor potência de transmissão. Isso é como sussurrar uma mensagem clara em um ambiente barulhento, em vez de gritar uma mensagem complexa.

01

## Modulação Eficiente

Sinais robustos contra ruídos e interferências, viajando longas distâncias com baixa potência

02

## Modo de Sono Profundo

Dispositivos acordam apenas para transmitir, minimizando o tempo com rádio ativo

03

## Protocolos Simplificados

Redução da sobrecarga de processamento, economizando ainda mais bateria

04

## Dados Otimizados

Transmissão de pequenos pacotes infrequentes, perfeitos para sensores IoT

O baixo consumo de energia é alcançado por meio de várias estratégias. Primeiramente, os dispositivos LPWAN passam a maior parte do tempo em um estado de sono profundo, acordando apenas para enviar pequenos pacotes de dados e, em seguida, retornando ao sono. Isso minimiza o tempo em que o rádio está ativo, que é o maior consumidor de energia. Além disso, a simplicidade dos protocolos de comunicação reduz a sobrecarga de processamento, economizando ainda mais bateria. É como um atleta de maratona que economiza energia correndo em um ritmo constante e eficiente, em vez de dar sprints desnecessários.



### Dados Pequenos, Grande Impacto

A taxa de dados, embora baixa, é perfeitamente adequada para a maioria das aplicações IoT. Estamos falando de **kilobytes por dia**, não megabytes por segundo. Para um sensor que reporta a temperatura a cada hora, isso é mais do que suficiente.

Essa otimização para "dados pequenos e infrequentes" é o que permite que as LPWANs operem com baterias que duram anos, em vez de dias ou semanas. É a escolha inteligente de priorizar a longevidade e o alcance sobre a velocidade, atendendo às necessidades específicas de bilhões de dispositivos IoT que não precisam de streaming de vídeo, mas sim de uma conexão confiável e duradoura.

# Espectro Licenciado vs. Não Licenciado: Onde as LPWANs Residem

Quando falamos de comunicação sem fio, um dos aspectos mais fundamentais é o espectro de rádio, que é como as "estradas" por onde os sinais viajam. Existem dois tipos principais de espectro: o licenciado e o não licenciado, e a escolha entre eles tem implicações significativas para a implantação e operação de redes LPWAN.

Compreender essa distinção é crucial para avaliar as diferentes tecnologias e seus modelos de negócio.

## Espectro Licenciado

O **espectro licenciado** é como uma rodovia pedagiada, onde as operadoras de telecomunicações compram o direito exclusivo de usar certas frequências em uma determinada região. Isso garante que não haverá interferência de outros usuários, proporcionando uma comunicação mais estável e previsível.

- **Vantagens:** Confiabilidade, segurança, qualidade garantida
- **Desvantagens:** Custo de acesso, taxas mensais
- **Exemplos:** NB-IoT, LTE-M

## Espectro Não Licenciado

O **espectro não licenciado** é como uma via pública, onde qualquer um pode transmitir, desde que respeite certas regras de potência e uso. Bandas como 868 MHz (Europa), 915 MHz (Américas) e 2.4 GHz (global) são exemplos.

- **Vantagens:** Flexibilidade, baixo custo, autonomia
- **Desvantagens:** Possível interferência de outros dispositivos
- **Exemplos:** LoRaWAN

Tecnologias como NB-IoT e LTE-M operam nesse espectro, aproveitando a infraestrutura existente das redes celulares. A vantagem é a confiabilidade e a segurança, mas o custo de acesso e o modelo de serviço (geralmente mensal) são definidos pelas operadoras.

A tecnologia LoRaWAN, por exemplo, utiliza essas bandas. A grande vantagem é a flexibilidade e o baixo custo de implantação, pois não há taxas de licença. No entanto, a desvantagem é a possibilidade de interferência de outros dispositivos que também usam essas frequências, o que exige protocolos mais robustos para garantir a entrega dos dados.

A escolha entre espectro licenciado e não licenciado para uma solução LPWAN depende muito da aplicação. Para missões críticas que exigem garantia de serviço e segurança, o espectro licenciado pode ser preferível. Para aplicações de baixo custo e grande escala, onde a flexibilidade e a autonomia de implantação são mais importantes, o espectro não licenciado oferece uma alternativa atraente.

Conceito	Âmbito/Aplicação	Exemplo
<b>Espectro Licenciado</b>	Aplicações críticas, segurança, garantia de serviço	NB-IoT, LTE-M (operadoras de celular)
<b>Espectro Não Licenciado</b>	Baixo custo, flexibilidade, implantação privada	LoRaWAN (redes comunitárias ou privadas)

# Principais Tecnologias do Mercado: LoRaWAN

Com o cenário do trilema e do espectro bem estabelecido, é hora de conhecer as estrelas do show: as principais tecnologias LPWAN que dominam o mercado. Começaremos com **LoRaWAN**, uma das mais populares e versáteis. LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) é um protocolo de comunicação de rede de área ampla de baixa potência, baseado na tecnologia de modulação física LoRa. Sua principal característica é a capacidade de oferecer um alcance excepcional, que pode chegar a dezenas de quilômetros em áreas rurais e vários quilômetros em ambientes urbanos, com um consumo de energia mínimo.

## A Magia da Modulação LoRa

A magia do LoRaWAN reside em sua modulação LoRa, que utiliza uma técnica de espectro de espalhamento de chirp (CSS). Sem entrar em detalhes técnicos excessivos, imagine que o sinal de rádio é "espalhado" por uma banda de frequência mais ampla, tornando-o extremamente resistente a ruídos e interferências.

Isso permite que os sinais sejam detectados mesmo quando estão abaixo do nível de ruído, uma característica que as redes tradicionais não conseguem igualar. É como ter uma lanterna que, em vez de focar um feixe intenso, ilumina suavemente uma área muito maior, permitindo que você veja objetos distantes mesmo em uma névoa densa.

Uma das grandes vantagens do LoRaWAN é que ele opera em espectro não licenciado, o que significa que qualquer um pode montar sua própria rede sem a necessidade de pagar taxas de licença de espectro. Isso impulsionou o surgimento de redes comunitárias e a implantação de soluções privadas por empresas e cidades. A arquitetura LoRaWAN é composta por dispositivos finais (sensores), gateways (que recebem os sinais e os encaminham para a internet), um servidor de rede e um servidor de aplicação. Essa flexibilidade e o modelo de baixo custo de implantação o tornam ideal para uma vasta gama de aplicações, desde rastreamento de ativos até monitoramento ambiental e agricultura inteligente.



### **Características Principais**

- Alcance: **até 15 km** (rural)
- Bateria: **até 10 anos**
- Espectro: **não licenciado**
- Custo: **baixo**
- Implantação: **flexível**

# Principais Tecnologias do Mercado: NB-IoT e LTE-M

Enquanto LoRaWAN brilha no espectro não licenciado, outras tecnologias LPWAN se destacam por operar dentro do espectro licenciado, aproveitando a robustez e a ubiquidade das redes celulares existentes. Estamos falando de **NB-IoT** (Narrowband Internet of Things) e **LTE-M** (Long-Term Evolution for Machines), ambas padronizadas pelo 3GPP (3rd Generation Partnership Project) e desenvolvidas para coexistir com as redes 4G e 5G.



## NB-IoT

**NB-IoT** é otimizada para dispositivos que precisam enviar pequenas quantidades de dados de forma muito infrequente, priorizando o baixo custo, o consumo de energia ultrabaixo e a penetração profunda em ambientes internos e subterrâneos.

- Dados: **muito baixos**
- Consumo: **ultrabaixo**
- Penetração: **excelente**
- Mobilidade: **não suportada**



## LTE-M

**LTE-M** (também conhecido como Cat-M1) oferece um equilíbrio diferente. Embora ainda seja de baixa potência e longo alcance, ele suporta taxas de dados um pouco maiores (até cerca de 1 Mbps), mobilidade total e até mesmo voz.

- Dados: **até 1 Mbps**
- Consumo: **baixo**
- Mobilidade: **total**
- Voz: **suportada**

## Quando usar NB-IoT?

Pense em medidores de água ou gás que precisam enviar uma leitura uma vez por dia, ou sensores de estacionamento que indicam se uma vaga está ocupada. Sua "banda estreita" (Narrowband) permite que o sinal seja muito eficiente e robusto, alcançando locais onde outros sinais celulares teriam dificuldade. É como uma mensagem enviada por um túnel estreito, que pode demorar um pouco mais, mas tem certeza de chegar ao destino, mesmo que seja profundo.

## Quando usar LTE-M?

Isso o torna ideal para aplicações que exigem um pouco mais de largura de banda ou a capacidade de rastrear ativos em movimento, como veículos ou pessoas. Por exemplo, um rastreador de contêineres que precisa enviar atualizações de localização mais frequentes e talvez alguns dados de telemetria. LTE-M é como uma estrada secundária que, embora não seja uma rodovia principal, permite um tráfego mais rápido e flexível do que um túnel estreito.

Ambas as tecnologias se beneficiam da segurança e da infraestrutura global das operadoras de celular, o que facilita a implantação em larga escala e a gestão de dispositivos. A escolha entre NB-IoT e LTE-M dependerá das necessidades específicas de cada aplicação em termos de taxa de dados, mobilidade e criticidade.

# Comparativo das Principais Tecnologias LPWAN

Para consolidar o entendimento sobre as diferentes abordagens das LPWANs, é útil visualizar suas características em conjunto. Cada tecnologia tem seu nicho e suas vantagens, e a escolha ideal depende da aplicação específica, do orçamento e dos requisitos de desempenho. Embora todas busquem o equilíbrio no trilema da conectividade, elas o fazem com prioridades ligeiramente diferentes, resultando em perfis de uso distintos.

Conceito	Espectro	Taxa de Dados	Alcance	Mobilidade
LoRaWAN	Não Licenciado	Baixa (kbps)	Longo (km)	Limitada
NB-IoT	Licenciado	Muito Baixa (kbps)	Longo (km)	Não Suportada
LTE-M	Licenciado	Média (até 1 Mbps)	Longo (km)	Suportada

Ao comparar LoRaWAN, NB-IoT e LTE-M, percebemos que a principal distinção reside no espectro de operação e, conseqüentemente, nos modelos de implantação e custos. LoRaWAN oferece flexibilidade e baixo custo de infraestrutura para redes privadas, enquanto NB-IoT e LTE-M se integram às redes celulares existentes, proporcionando maior confiabilidade e segurança, mas com custos operacionais associados às operadoras. Essa diversidade é uma força, pois permite que a IoT atenda a uma gama incrivelmente ampla de necessidades.



## Monitoramento de Qualidade do Ar

Para sensores fixos que enviam dados a cada hora, **NB-IoT** pode ser ideal pela penetração e baixo consumo.



## Veículos de Coleta

Para veículos que precisam reportar rota e status em tempo real, **LTE-M** seria mais adequado devido à mobilidade e taxa de dados.



## Campus Universitário

Para uma rede de sensores gerenciada pela própria instituição, **LoRaWAN** oferece a autonomia e o controle necessários.

# A Ascensão do Edge e Fog Computing no Contexto LPWAN

A história das LPWANs não termina na conectividade; ela se entrelaça com as tendências mais recentes da computação distribuída, como o **Edge e Fog Computing**. Tradicionalmente, os dados coletados pelos dispositivos IoT eram enviados diretamente para a nuvem para processamento e análise. No entanto, com o volume crescente de dados e a necessidade de respostas em tempo real, essa abordagem centralizada começou a mostrar suas limitações em termos de latência, largura de banda e segurança.



## Dispositivos IoT

Sensores coletam dados na borda da rede



## Edge Computing

Processamento local imediato, reduz latência



## Fog Computing

Camada intermediária de processamento distribuído



## Nuvem

Análise profunda e armazenamento de longo prazo

## Edge Computing

É aqui que o Edge Computing entra em jogo. Ele propõe processar os dados o mais próximo possível de onde são gerados – na "borda" (edge) da rede. Isso significa que, em vez de enviar todos os dados brutos de um sensor LPWAN para a nuvem, um pequeno computador local (um gateway ou um microservidor) pode realizar uma pré-análise, filtrar informações irrelevantes ou até mesmo tomar decisões imediatas.

Isso reduz a latência, economiza largura de banda da rede LPWAN e aumenta a privacidade, pois menos dados sensíveis precisam viajar para a nuvem. É como ter um assistente inteligente no local que resolve a maioria dos problemas antes de precisar consultar o chefe distante.

## Fog Computing

O Fog Computing, por sua vez, é uma extensão do Edge Computing, criando uma camada intermediária de processamento entre os dispositivos de borda e a nuvem. Ele atua como uma "névoa" (fog) de recursos computacionais distribuídos, permitindo que o processamento seja realizado em diferentes pontos da rede, dependendo da necessidade.

Essa arquitetura de 3, 5 ou até 7 camadas, que evoluiu para incluir essas novas camadas, é fundamental para a escalabilidade e eficiência das soluções IoT modernas. Para as LPWANs, isso significa que os dados, mesmo que pequenos, podem ser enriquecidos e processados localmente antes de serem enviados para a nuvem, otimizando ainda mais o uso da rede e a tomada de decisões.

# O Protocolo Matter: Unificando a Casa Inteligente com LPWANs

Além das arquiteturas de computação, as LPWANs também se beneficiam de novos padrões que buscam simplificar a interoperabilidade no vasto ecossistema IoT. Um exemplo proeminente é o **Protocolo Matter**, lançado pela Connectivity Standards Alliance (CSA). Embora o Matter seja mais conhecido por unificar dispositivos de casa inteligente (como lâmpadas, termostatos e fechaduras), sua filosofia de interoperabilidade e sua base em tecnologias de rede IP têm implicações importantes para o futuro das LPWANs.

Atualmente, o Matter opera principalmente sobre Wi-Fi, Thread (uma rede mesh de baixa potência baseada em IP) e Ethernet. No entanto, a visão de longo prazo é que ele possa se estender para outras tecnologias, incluindo as LPWANs. Imagine um cenário onde sensores de segurança alimentados por bateria, conectados via LoRaWAN ou NB-IoT, pudessem se comunicar de forma padronizada com o ecossistema Matter da sua casa inteligente. Isso simplificaria enormemente a integração e a gestão de dispositivos, independentemente da tecnologia de conectividade subjacente.

A adoção do Matter está crescendo rapidamente, e sua promessa de "funcionar em qualquer lugar, com qualquer coisa" é um divisor de águas para a experiência do usuário na IoT. Embora as LPWANs não sejam diretamente parte do protocolo Matter em sua versão inicial, a tendência é que a demanda por conectividade de baixo custo e longo alcance para dispositivos inteligentes continue a impulsionar a convergência.

Isso significa que, no futuro, poderemos ver gateways Matter que também atuam como gateways LoRaWAN, ou dispositivos NB-IoT que se integram perfeitamente a um ecossistema Matter, simplificando a vida dos desenvolvedores e dos usuários finais. A unificação trazida pelo Matter é um passo gigante para a maturidade da IoT, e as LPWANs estarão lá para fornecer a conectividade essencial para muitos desses dispositivos.



## Visão de Futuro

No futuro, poderemos ver gateways Matter que também atuam como gateways LoRaWAN, ou dispositivos NB-IoT que se integram perfeitamente a um ecossistema Matter.

# Consolidação e Próximos Passos

Chegamos ao fim de nossa jornada pela introdução às Redes LPWAN, um pilar fundamental para a expansão e o sucesso da Internet das Coisas. Vimos que as LPWANs não são apenas uma alternativa, mas uma necessidade estratégica para conectar bilhões de dispositivos de forma eficiente, superando o trilema da conectividade ao equilibrar alcance, consumo de energia e taxa de dados. Exploramos as diferenças cruciais entre o espectro licenciado e não licenciado, e mergulhamos nas características de LoRaWAN, NB-IoT e LTE-M, cada uma com suas forças e aplicações ideais.



Compreendemos também como tendências como Edge e Fog Computing estão remodelando as arquiteturas IoT, permitindo processamento mais próximo da fonte de dados e otimizando o uso das redes LPWAN. E, finalmente, vislumbramos o futuro com o Protocolo Matter, que promete unificar a experiência da casa inteligente e, eventualmente, integrar-se a soluções LPWAN para uma interoperabilidade sem precedentes.

## **Em prática**

A escolha da tecnologia LPWAN correta para um projeto IoT é uma decisão estratégica que impacta diretamente a viabilidade, o custo e a longevidade da solução. Considere sempre o volume de dados, a frequência de transmissão, o alcance necessário, a vida útil da bateria desejada e o modelo de implantação (privado vs. operadora) antes de decidir. A capacidade de integrar essas redes com arquiteturas de borda e padrões como o Matter será um diferencial competitivo no mercado.

# Autoavaliação

1

Qual das seguintes opções melhor descreve o principal objetivo das redes LPWAN?

1. Fornecer conectividade de alta velocidade para streaming de vídeo em dispositivos móveis.
2. **Conectar dispositivos IoT por longas distâncias com baixo consumo de energia e baixas taxas de dados.**
3. Substituir as redes Wi-Fi em ambientes domésticos e de escritório.
4. Oferecer conectividade de banda larga para aplicações de realidade virtual.

2

O "trilema da conectividade IoT" refere-se ao desafio de equilibrar quais três fatores?

1. Custo, segurança e velocidade.
2. **Alcance, consumo de energia e taxa de dados.**
3. Latência, largura de banda e confiabilidade.
4. Hardware, software e nuvem.

3

Qual tecnologia LPWAN opera em espectro não licenciado e é conhecida por sua flexibilidade de implantação em redes privadas?

1. NB-IoT
2. LTE-M
3. 5G
4. **LoRaWAN**

4

A tendência de processar dados mais perto de onde são gerados para reduzir a latência e a dependência da nuvem é conhecida como:

1. Cloud Computing
2. Mainframe Computing
3. **Edge Computing**
4. Quantum Computing



## Questão Discursiva

Explique como a ascensão do Edge e Fog Computing complementa e otimiza o uso das redes LPWAN em um cenário de Internet das Coisas, considerando os desafios de latência e largura de banda.

# Próxima Aula

## Aula 14: LoRa e LoRaWAN – Padrão Aberto para Longo Alcance

Na Aula 14, aprofundaremos em uma das tecnologias mais proeminentes que abordamos hoje: **LoRa e LoRaWAN: Padrão Aberto para Longo Alcance**. Exploraremos seus detalhes técnicos, arquitetura de rede, casos de uso e o ecossistema que a torna tão popular.

### Recursos Adicionais

#### Artigo sobre LPWANs


Para uma visão mais aprofundada das tecnologias e suas aplicações.

#### Documentação da LoRa Alliance

Para entender os padrões e especificações do LoRaWAN.

#### Relatórios de mercado sobre IoT

Para acompanhar as tendências e a adoção de LPWANs globalmente.

 **NOTA IMPORTANTE:** As informações regulatórias/legais/técnicas desta aula estão atualizadas até 2025. Consulte sempre fontes oficiais para verificar alterações.