

Aula 12 - Redes de Múltiplos Saltos

Diego Passos

Universidade Federal Fluminense

Redes de Computadores II

Na Última Aula (I)...

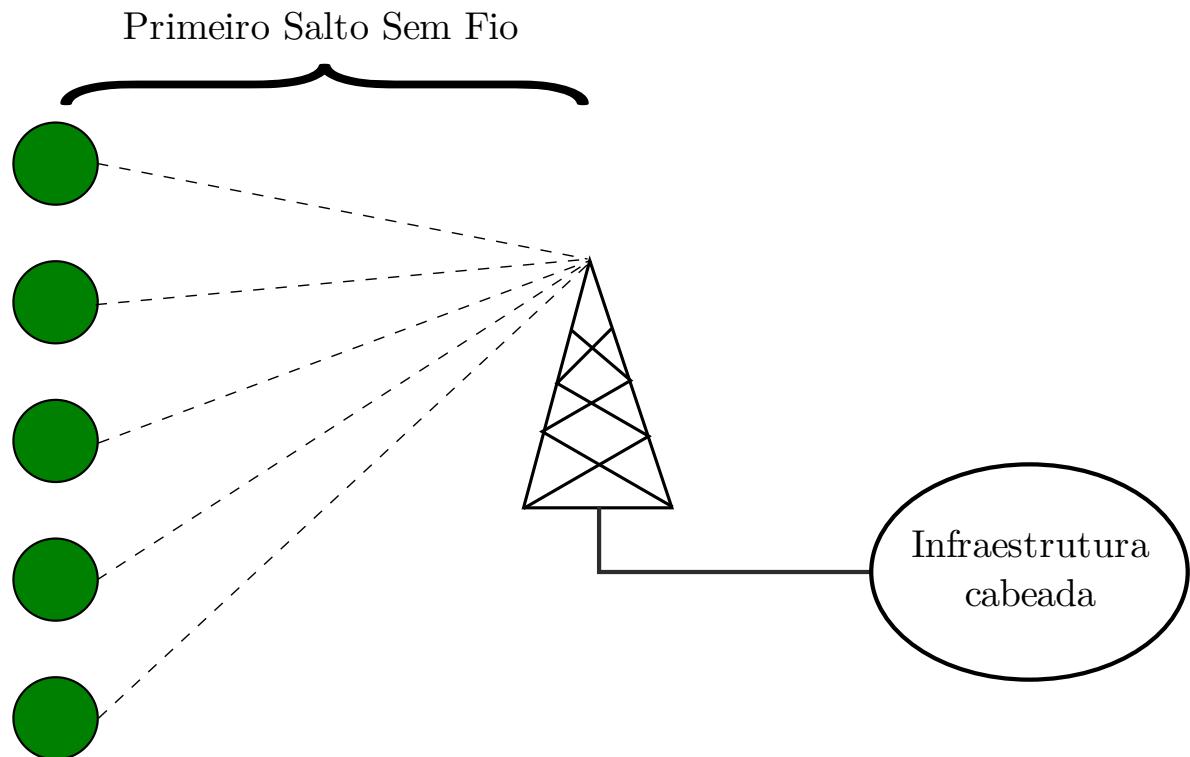
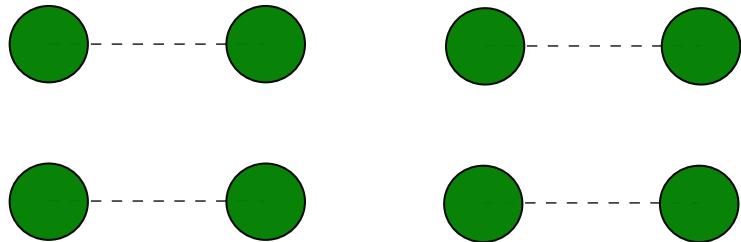
- RTS/CTS: mecanismo de **reserva virtual**.
 - RTS: Request-To-Send.
 - CTS: Clear-To-Send.
 - Enviado pelo receptor, autorizando.
 - Pode **reduzir quantidade e efeito** de colisões.
 - Principalmente em casos de terminais escondidos.
 - Nem sempre efetivo.
 - Introduz overheads.
 - **Limiar de RTS/CTS**.
- **Problema do terminal exposto:**
 - Transmissões simultâneas que não causariam colisão são suprimidas pelo CSMA/CA.
 - Não resolvido pelo RTS/CTS.
- IEEE 802.11: endereços.
 - Quatro campos previstos no cabeçalho.
 - Origem e destino **daquela transmissão sem fio**.
 - Mas também BSSID, destinatário final, ...
- IEEE 802.11: mobilidade.
 - Suportada pelo padrão entre APs de um mesmo ESSID.
 - **Decisão do cliente**.
- Adaptação automática de taxa.
 - Geralmente baseada em quadros perdidos.
 - Reduz taxas para enlaces “piores”.
- IEEE 802.11: economia de energia.
 - Detecção virtual de portadora.
 - Duty cycle entre beacons.

Na Última Aula (II)...

- IEEE 802.11: eficiência.
 - Várias fontes de *overhead*.
 - **Eficiência mais baixa para taxas mais altas.**
 - Perdas de quadros também contribuem.
- Redes densas:
 - Muitos clientes, muitos APs.
 - Balanceamento de carga.
 - Escolha dinâmica de canais.
 - Planejamento.
 - Micro-células.
 - Instabilidade de associação.

Introdução/Motivação (I)

- Redes infraestruturadas (de um salto):
 - AP intermedia todas as comunicações.
 - Um único salto (até a “infraestrutura”).
 - **Alcance limitado.**



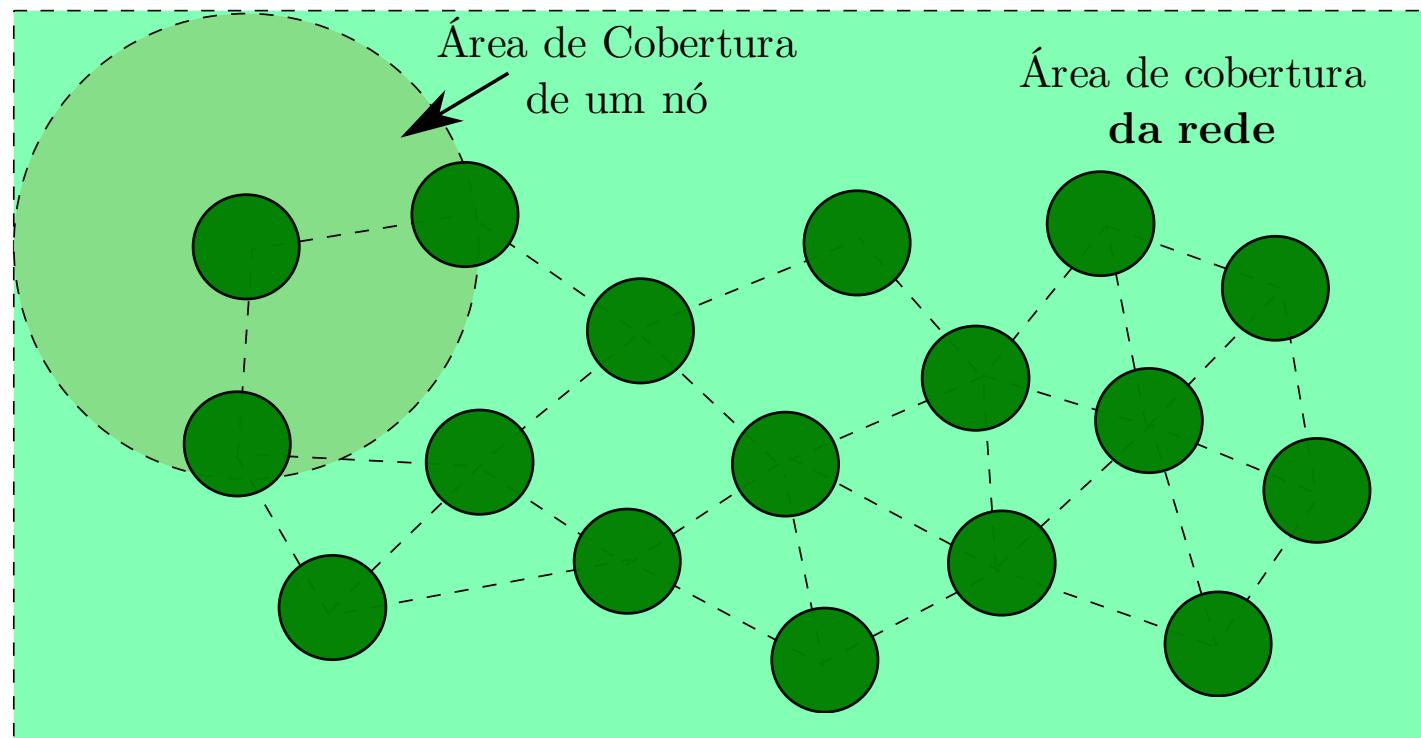
- Redes *ad hoc* de um salto:
 - Comunicação direta entre hosts.
 - **Alcance limitado.**

Introdução/Motivação (II)

- **Pergunta:** Como estender o alcance das redes sem fio?
- **Primeira tentativa:** aumentar alcance de rádio.
 - Aumentar potência de transmissão/aumentar sensibilidade de recepção.
 - Hardware mais sofisticado necessário.
 - Pode ser **inviável** técnica ou economicamente.
 - Área de alcance aumenta, mas capacidade se mantém.
 - **Mais nós compartilhando mesma banda.**
- Outros problemas:
 - Consumo energético.
 - Interferência com outros equipamentos.
 - Questões regulatórias.
 - ...

Introdução/Motivação (III)

- **Pergunta:** Como estender o alcance das redes sem fio?
- **Segunda tentativa:** permitir comunicação em múltiplos saltos.
 - Cobertura da rede depende do espalhamento dos nós.
 - Para aumentar o alcance, basta implantar mais nós.
 - Desde que nenhum nó esteja isolado, caminhos se criam espontaneamente.
 - Pode ser realizado com *hardware* comum, barato.



Redes Sem Fio de Múltiplos Saltos: Tipos

- **Aplicações diferentes, redes diferentes:**

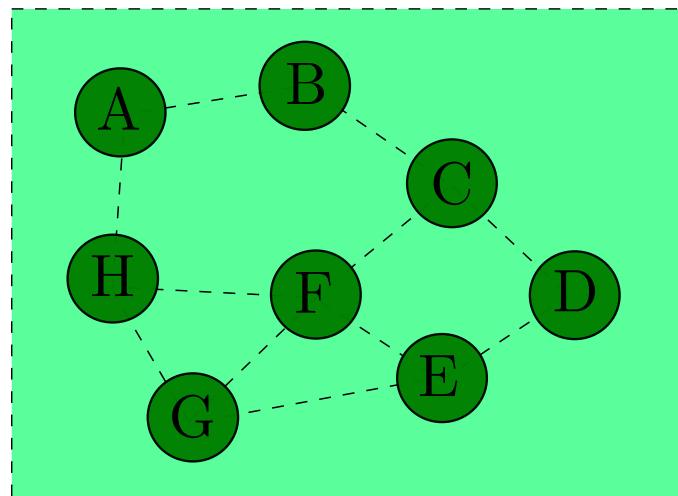
- Redes *ad hoc* móveis.
- Redes em malha sem fio.
- Redes de sensores sem fio.
- Redes veículares.
- ...
- Cada uma destas redes possui suas particularidades.
 - Tanto em termos de qualidades/requisitos, quanto em termos de desafios.
- Mas há também vários pontos em comum.

- **Possível cenário: resgates após desastres naturais.**

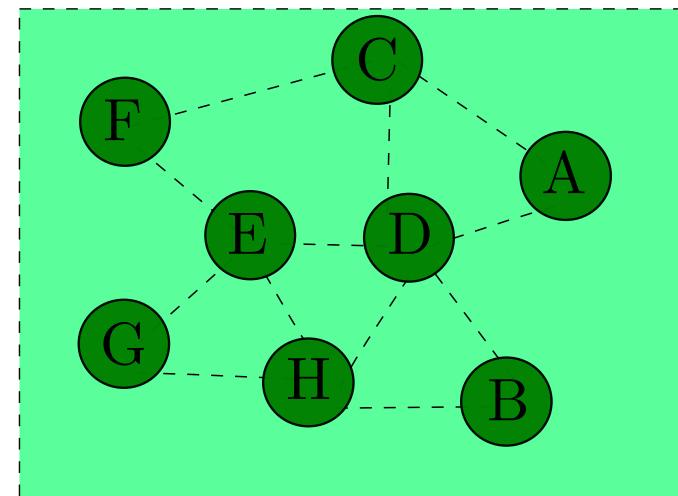
- Furacão/terremoto/maremoto atinge área urbana.
- Equipes de resgate varrem região em busca de sobreviventes.
- Equipes devem trocar informações para coordenação.
- Problema: **infraestruturas de comunicação típicas ainda estarão disponíveis?**
 - e.g., celular, Wi-Fi.
 - **Possivelmente, não.**
- Características do problema:
 - Região de cobertura desejada é grande.
 - Não há tempo de implantação/configuração de uma infraestrutura de rede.
 - Nós (equipes) são **potencialmente móveis**.

Redes Ad Hoc Móveis (II)

- Ausência de infraestrutura.
 - Não há estações base, nós com função especial.
- Auto-configuração.
 - Novos nós podem entrar na rede com pouca configuração manual.
 - “Descobrem sozinhos” informações importantes.
 - e.g., rotas para outros nós.
- Mobilidade.
 - Mudanças topológicas frequentes.
 - E profundas.
 - Topologia inteira pode mudar em questão de segundos.



Antes



Depois

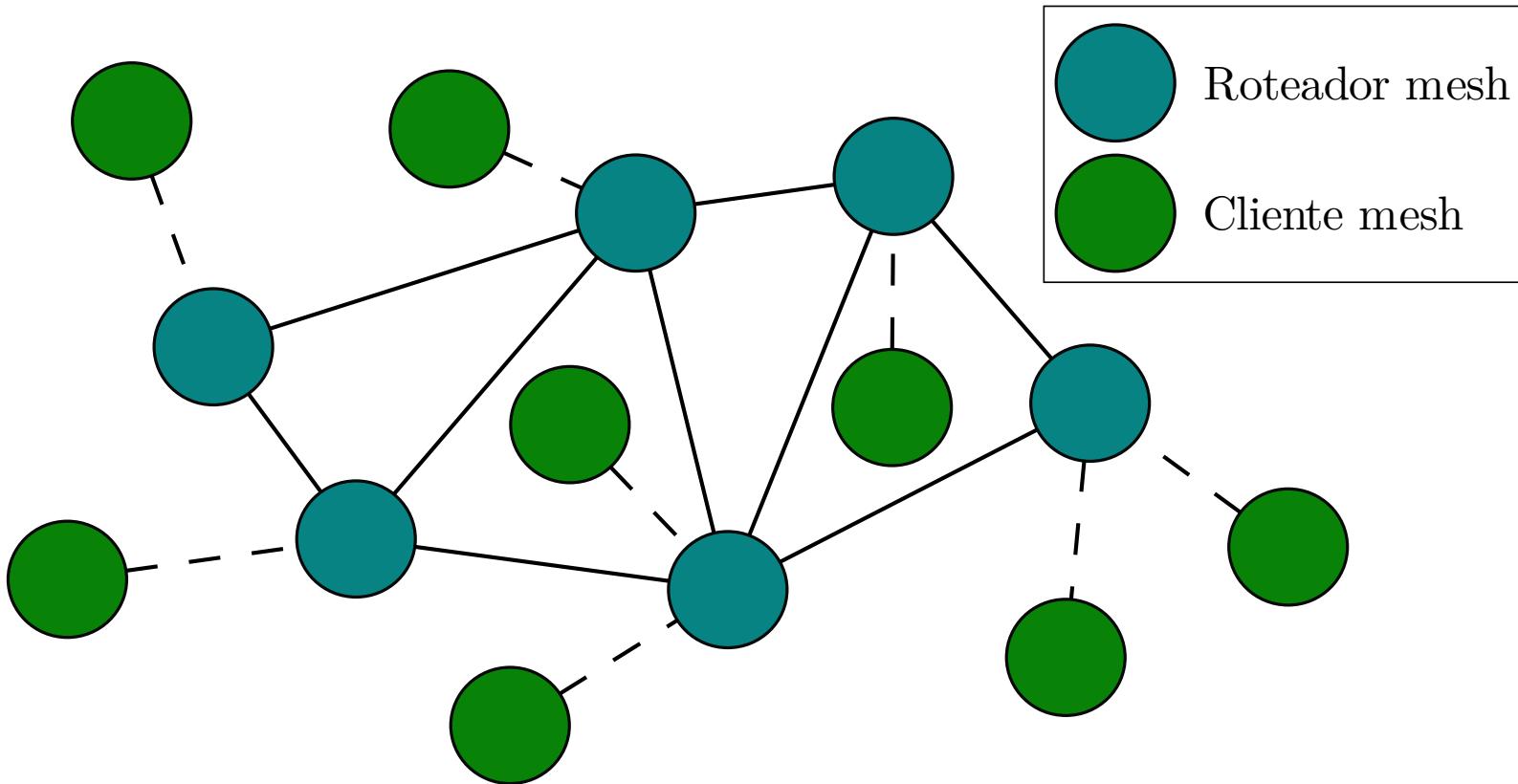
Redes Ad Hoc Móveis (III)

- Aplicações militares.
 - e.g., comunicação entre tropas durante um ataque.
- Serviços de emergência.
- Redes de comunicação eventual/esporádica.
- Jogos multiusuário.
- ...

Redes em Malha Sem Fio (I)

- Redes *ad hoc* são baratas, fáceis de configurar, ...
- Mas falta de estrutura tem seu preço: **baixo desempenho.**
 - Clientes atuam como roteadores, mas podem entrar e sair da rede.
 - Caminho pode simplesmente “sumir”.
 - Topologia varia muito, impondo dificuldades ao roteamento.
 - Mesmo se a topologia é estável, qualidade dos enlaces tende a variar.
 - Algumas aplicações exigem um certo nível de desempenho.
 - Solução: criar uma infraestrutura sem fio auxiliar, além dos clientes.

Redes em Malha Sem Fio (II)



- Clientes mesh se comunicam com roteador mesh.
- Roteadores mesh se comunicam em múltiplos saltos.
- Encaminham pacotes de cliente para cliente.

Redes em Malha Sem Fio (III)

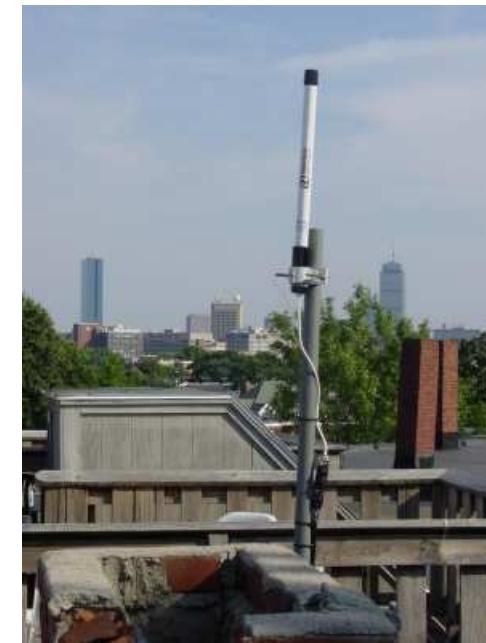
- Redes em Malha vs. MANETs:
 - Topologia ainda é dinâmica.
 - Qualidade dos enlaces ainda varia.
 - Clientes ainda são móveis.
- **Mas:**
 - Roteadores mesh formam *backbone* estático.
 - Topologia do *backbone* muda bem menos.
 - Localização, antenas dos roteadores podem ser **planejadas** para melhor desempenho.

Redes em Malha Sem Fio: Aplicações (I)

- Redes comunitárias para acesso à Internet:
 - Sub-conjunto dos roteadores mesh atua como *gateway*.
 - Gateways se conectam à Internet, proveem conectividade aos demais nós.
 - Muitas vezes, proveem serviços como NAT, firewalls, ...
- Diversos projetos pelo mundo:
 - Roofnet.
 - VMesh.
 - Remesh.
 - ...

Redes em Malha Sem Fio: Aplicações (II)

- Exemplo: Roofnet.
 - Desenvolvido pelo MIT.
 - Provia acesso à Internet banda-larga a usuários em Cambridge.



* Figuras adaptadas de Bicket et al., "Architecture and Evaluation of the MIT Roofnet Mesh Network".

Redes em Malha Sem Fio: Aplicações (III)

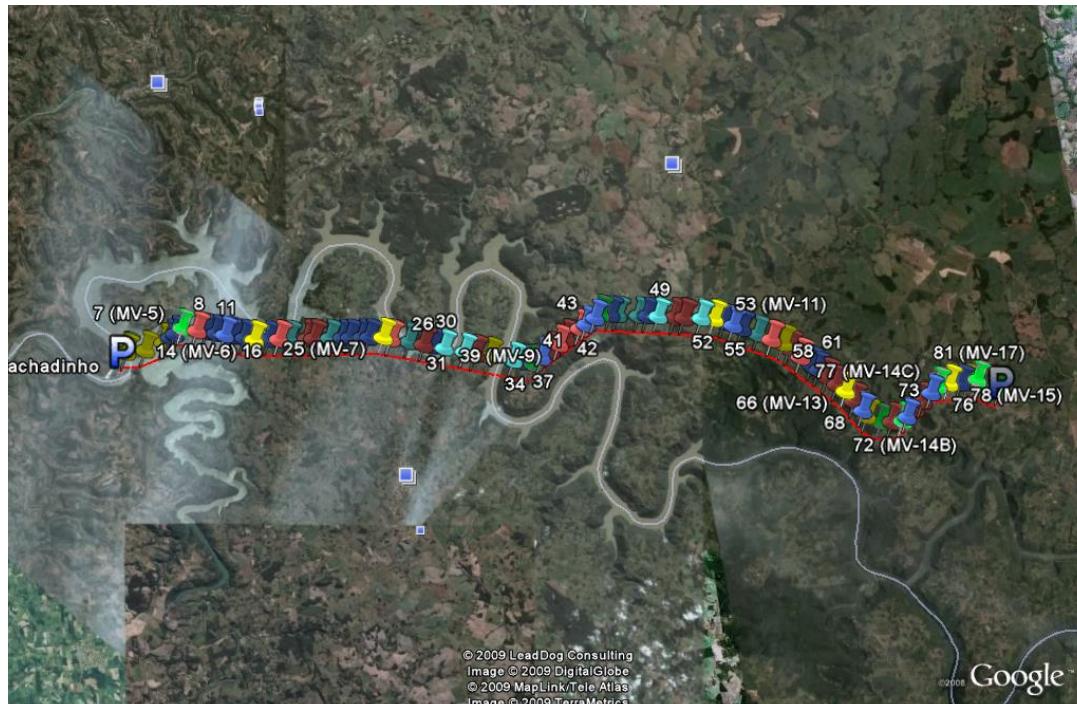
- Exemplo: Remesh.
 - Desenvolvido pela UFF.
 - Provia acesso à Internet banda-larga a alunos/funcionários da Universidade.
 - Nós instalados nas casas dos usuários.



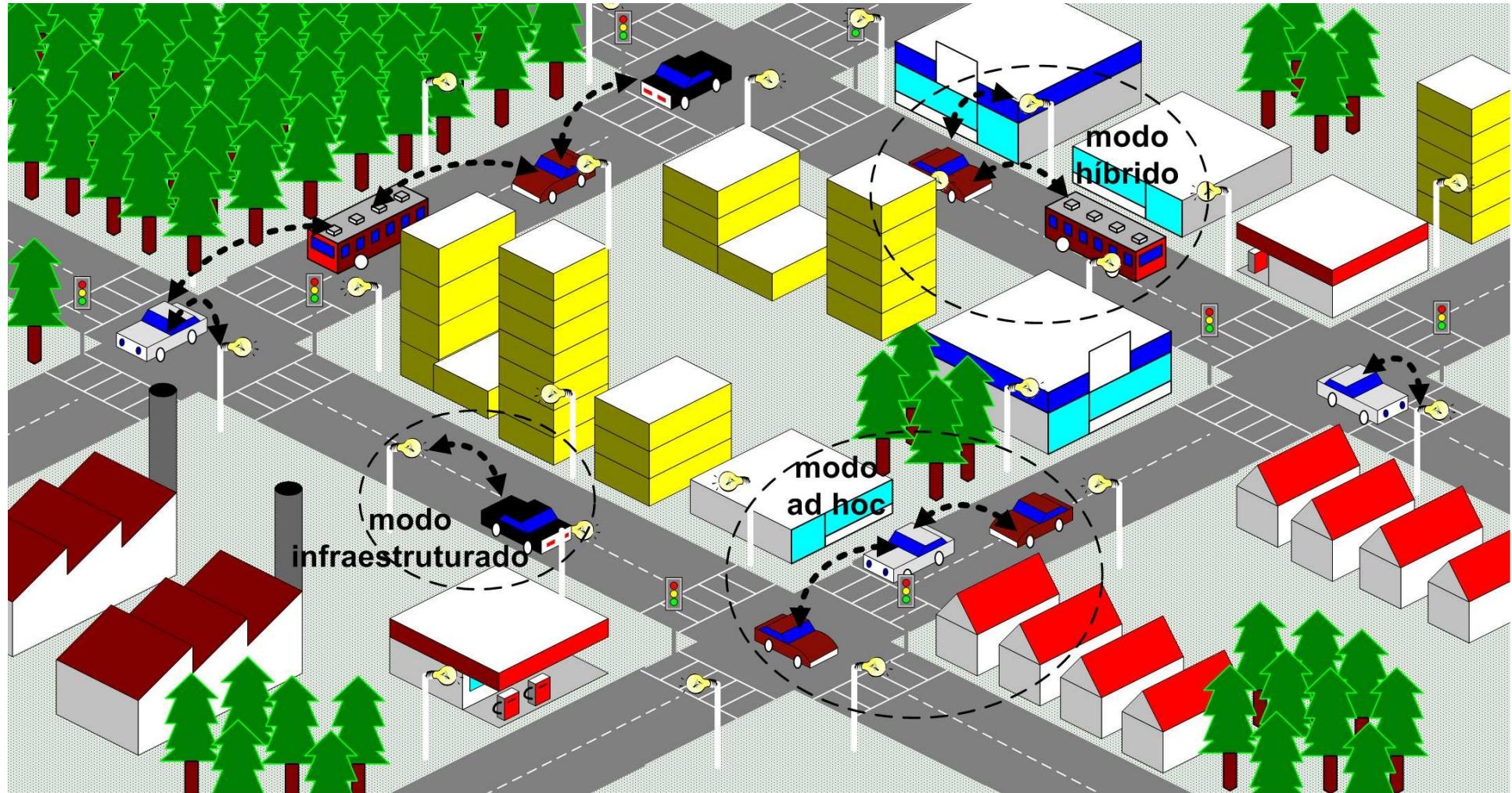
* Figura adaptada de Passos et al., "Mesh Network Performance Measurements".

Redes em Malha Sem Fio: Aplicações (IV)

- Prover conectividade de dados em locais sem infraestrutura.
 - Exemplo: Projeto Remote.
 - Desenvolvido pela UFF.
 - Rede em malha interconectando torres de linhas de transmissão.
 - Permite monitoramento em tempo real, comunicação barata de técnicos em campo,
- ...



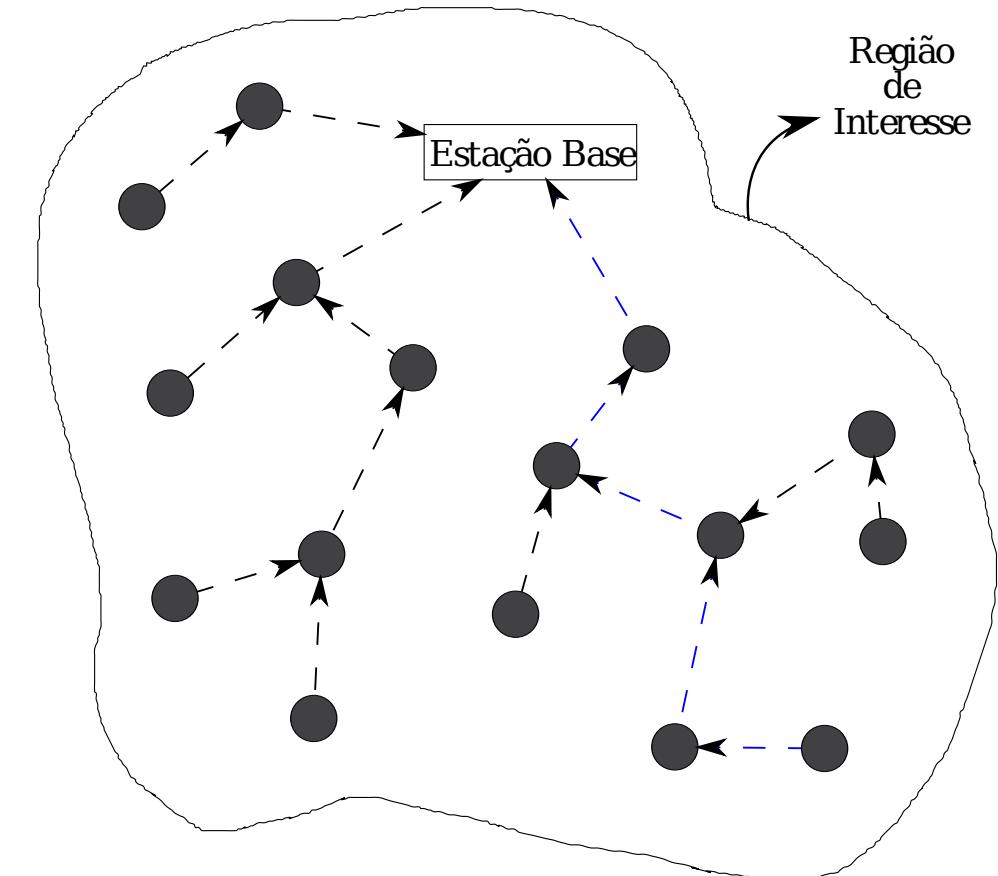
Outras Variações: Redes Veiculares



* Figura adaptada de Alves et al., "Redes Veiculares: Princípios, Aplicações e Desafios".

Redes de Sensores Sem Fio (I)

- Objetivo: “permanentemente” coletar informações sobre determinada região.
 - Monitoramento periódico de parâmetros.
 - Geração de alertas.
- Ideia:
 - Espalhar nós **sensores** pela região.
 - De forma planejada ou não.
 - Sensores medem parâmetros, coletam informações.
 - Enviam dados brutos ou processados para um **sorvedouro**.



Redes de Sensores Sem Fio (II)

- Algumas características:
 - Áreas a serem cobertas são geralmente grandes.
 - Sensores têm raio de atuação limitado.
 - Resultado:
 - Grande número de sensores são necessários.
 - Viabilidade econômica: sensores devem ser baratos, **simples**.
 - Comumente, alimentados por bateria.
 - Mais: em certas aplicações, não é viável dar manutenção aos sensores.
 - Troca/recarga de baterias é impossível.
 - Consumo energético deve ser reduzido.

Redes de Sensores Sem Fio: Aplicações (I)

- Aplicações em diversas áreas:
 - Saúde:
 - Sensores são “vestidos” ou implantados nos pacientes.
 - Monitoram pressão arterial, nível de glicose, ...
 - Meio-ambiente e biologia:
 - e.g., monitoramento da qualidade da água em uma lagoa.
 - e.g., monitoramento do posicionamento de animais em uma região.
 - Clima:
 - Monitoramento de temperatura, pressão atmosférica, ...

Redes de Sensores Sem Fio: Aplicações (II)

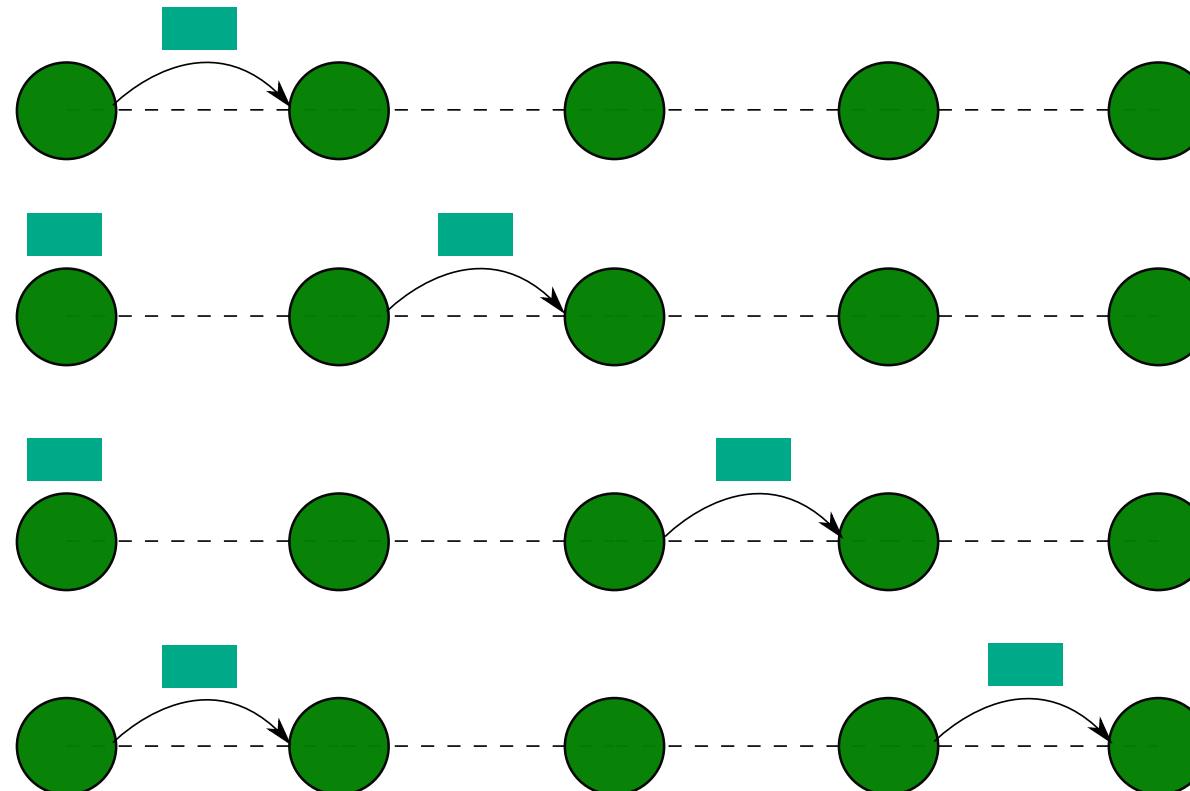
- Projeto Genome.
- Objetivo: monitorar temperatura em *datacenters*.
 - Gerenciamento da temperatura é um grande problema.
 - Muito da energia consumida utilizada para resfriamento.
 - Monitoramento em tempo real permite controle eficiente.



* Figura adaptada de Liu et al., "Project Genome: Wireless Sensor Network for Data Center Cooling".

Desafios: Desempenho vs. Número de Saltos (I)

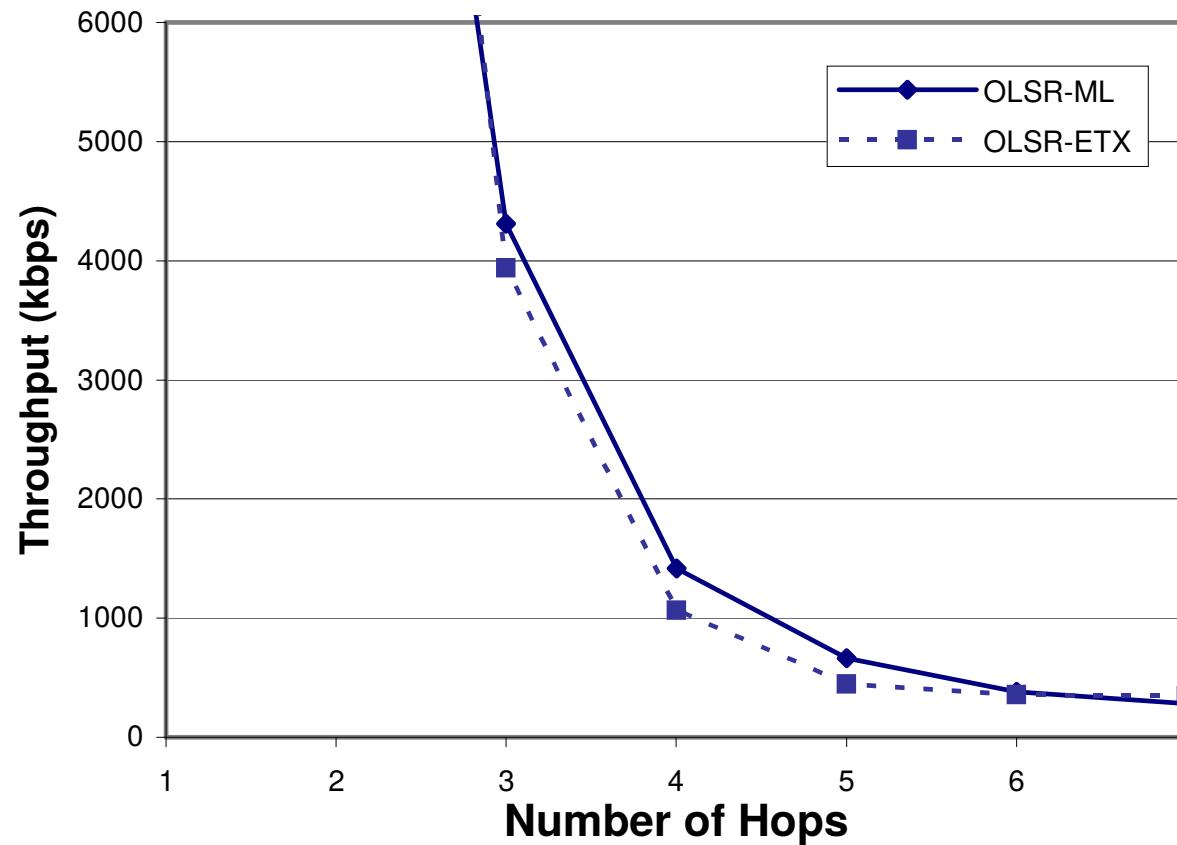
- Considere uma comunicação sem fio em múltiplos saltos.
- Cada nó alcança os nós imediatamente antes e depois no caminho.
- Suponha que desejamos enviar dois pacotes em sequência.



- Segundo pacote tem que “esperar” pois interferiria com o primeiro.
- **Interferência inter- (ou intra-) fluxo.**

Desafios: Desempenho vs. Número de Saltos (II)

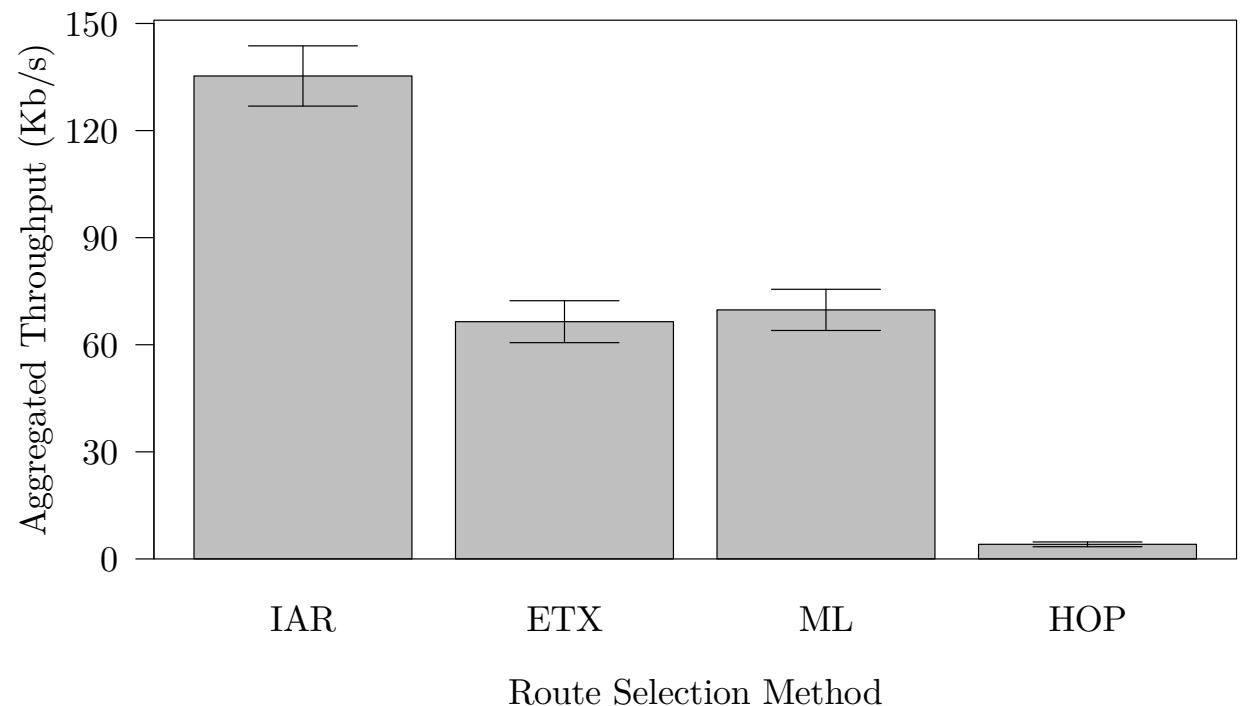
- Consequência: **vazão cai rapidamente com o aumento do número de saltos.**
 - Impõe limite prático no tamanho da rede.
 - Ou, ao menos, nas distâncias máximas entre nós que se comunicam.



* Figura adaptada de Passos et al., "Mesh Network Performance Measurements".

Desafios: Roteamento (I)

- Rotas fazem (muita) diferença no desempenho.
- Como escolher uma “boa” rota?
- Critério com base no slide anterior:
 - Minimizar número de saltos.
- Funciona bem?
 - **Não! Nem todo enlace sem fio é igual.**



* Figura adaptada de Passos, “Flow-Based Interference-Aware Routing in Multihop Wireless Networks”.

Desafios: Roteamento (II)

- Problema difícil por vários fatores:
 - **Alta variabilidade na qualidade dos enlaces.**
 - Interferências inter- e intra-fluxos.
 - Dependência da taxa de transmissão.
 - ...

L	S	D	Avg	Min	Max	σ
L1	0	1	9.40	1.05	71.30	7.03
L2	0	5	1.06	1.00	1.97	0.07
L3	0	6	1.12	1.00	51.00	2.07
L4	1	0	10.09	1.00	53.12	8.02
L5	1	2	90.91	1.00	451.56	72.11
L6	1	4	1.07	1.00	2.21	0.09
L7	1	5	1.13	1.00	13.42	0.17
L8	1	6	2.40	1.00	104.04	4.08
L9	2	1	199.60	1.00	451.56	180.58
L10	2	3	1.02	1.00	1.32	0.03
L11	2	4	1.07	1.00	1.39	0.06
L12	3	2	1.01	1.00	1.24	0.03
L13	4	1	1.06	1.00	2.28	0.09
L14	4	2	1.05	1.00	68.45	0.42
L15	5	0	1.04	1.00	30.44	0.19
L16	5	1	1.20	1.00	451.56	4.19
L17	5	6	6.10	1.00	51.00	3.54
L18	6	0	1.10	1.00	141.67	2.16
L19	6	1	2.25	1.00	106.25	2.17
L20	6	5	8.21	1.05	425.00	6.58

* Tabela adaptada de Passos et al., "Mesh Network Performance Measurements".

Desafios: Economia de Energia

- Relevante, principalmente, em redes de sensores.
 - Mas também aplicável a outras redes.
- Abordagem popular: desligar o rádio quando este não é necessário.
- Mas **como saber quando o rádio não é necessário?** Especialmente para recepção?
- Alguns métodos:
 - Coordenar a rede toda para ligar e desligar rádios simultaneamente.
 - Utilizar “rádio de baixo consumo” para pedir ao receptor que ligue “rádio principal”.
 - Deixar nós ligarem e desligarem seus rádios independentemente, mas **garantindo** que vizinhos ficarão com rádio ligado simultaneamente em **determinados instantes**.
 - ...

Resumo da Aula...

- Redes de Múltiplos Saltos: Motivação.
 - **Estender alcance** das redes sem fio tradicionais.
 - Enlaces curtos, mas comunicação em múltiplos saltos.
 - Hardware barato, comum.
 - Tolerância a falhas.
 - Aumento de capacidade.
- MANETs:
 - Formada apenas por clientes, **potencialmente móveis**.
 - **Topologia altamente variável**, instável.
- Redes em Malha Sem Fio:
 - Alguns **roteadores fixos**.
 - Reduz instabilidade da topologia.
 - Simplifica roteamento.
- Redes Veiculares:
 - Clientes móveis, altas velocidades.
 - Topologia ainda mais instável.
- Redes de Sensores Sem Fio:
 - **Coleta/monitoramento de dados**.
 - Dispositivos de baixa capacidade.
 - **Severas restrições energéticas**.
- **Desempenho vs. número de saltos**.
- Roteamento:
 - **Reagir rapidamente**.
 - Lidar com **alta variabilidade dos enlaces**.
 - Lidar com interferências inter- e intra-fluxos.
- Economia de energia:
 - Ligar rádio **apenas se necessário**.
 - Evitar overheads de coordenação.

- Dois tópicos diferentes, porém interconectados:
 - Rede Celular.
 - Evolução, arquitetura, funcionamento.
 - Mobilidade:
 - Conceitos básicos.
 - Ideias para soluções.