



# Algoritmos Eficientes em Termos de Energia para Redes de Sensores sem Fio

Frederico Jorge Ribeiro  
Barboza

# Agenda

- Redes de Sensores sem Fio – Caracterização
- Modelos
  - Propagação de Sinal
  - Energia
  - Conectividade
- Problemas
  - MAC
  - Controle de Topologia
  - Difusão
- Tipos de Soluções
- Conclusões



# REDES DE SENSORES SEM FIO

# Redes de Sensores sem Fio (RSSFs)

- Popularização das Redes de Sensores sem Fio (RSSFs)
  - Avanço das técnicas de integração e miniaturização
  - Barateamento dos nós sensores
  - Larga gama de aplicações
    - Controle
    - Ambiente
    - Engenharia
    - Tráfego
    - Segurança
    - Medicina
    - Militar

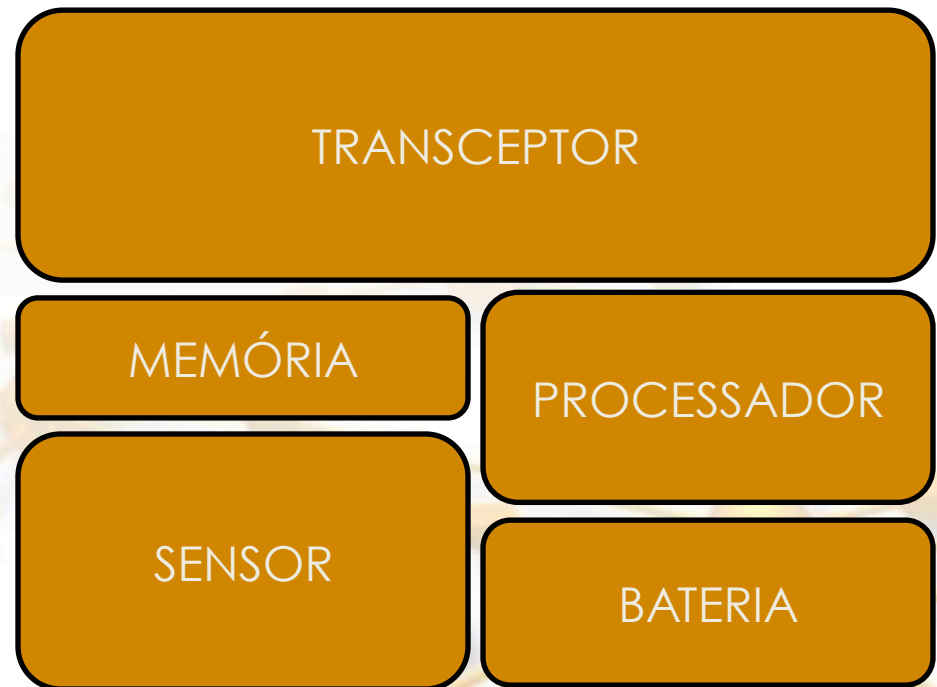


# Nós Sensores (1)

- Dispositivos autônomos equipados com capacidades de sensoriamiento, processamento e comunicação
- Um único chip onde são integrados
  - Unidade micro-processada
  - Memória
  - Sensores
  - Transceptor de baixa potência
- Conjunto alimentado por baterias

# Nós Sensores (2)

- Transceptor
  - Largura de Banda: 1kbit/s a 1Mbit/s
- Processador
  - Palavra: 8 bits
  - Frequência: 10MHz
- Memória
  - 128 Kbytes a 1 Mbyte
- Bateria
  - Linear Simples
  - Lítio NR
  - Lítio Coin Cell



# Nós Sensores(3)



# RSSF – Características (1)

- Densidade típica é muito superior as WLANs
  - 10 a 100 mil sensores
- Comunicação em múltiplos saltos
- Limitação da energia disponível





# RSSF - Soluções

- Soluções tradicionais precisam ser revistos para se adaptarem aos novos requisitos
- Novos problemas demandam novas soluções





# MODELO DE PROPAGAÇÃO DE SINAL

# Propagação do Sinal

- A propagação do sinal no meio está sujeita a uma série de fenômenos físicos:
  - Atenuação
  - Reflexão
  - Refração
  - Dispersão



# Atenuação

- A propagação do sinal no meio está sujeita ao fenômeno físico da atenuação.
- Atenuação é a perda gradual de intensidade de qualquer tipo de fluxo através de um meio



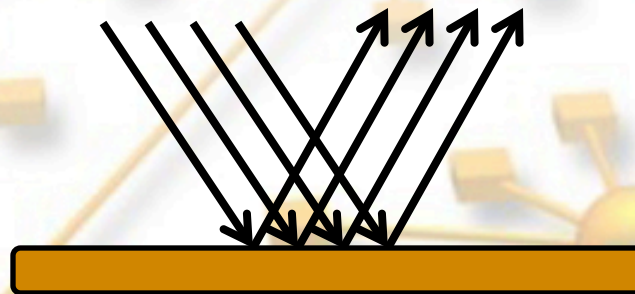
The diagram shows a network of nodes (spheres and cubes) connected by lines. In the center, there is an orange rectangular box with a black border. Inside the box, the text 'Ganho (db)' is written in white. An arrow points from the left into the box, and another arrow points from the box to the right, indicating a flow or gain through the network.

Ganho  
(db)



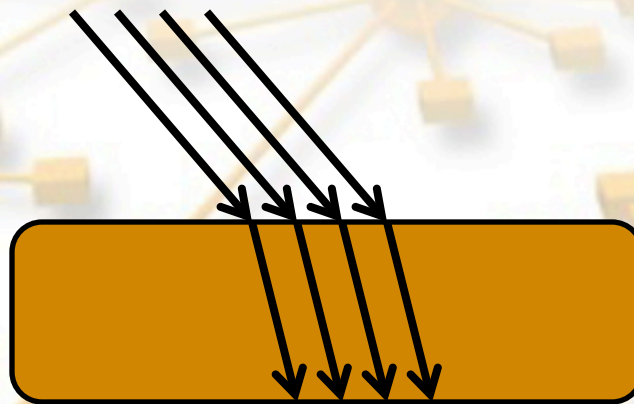
# Reflexão

- Reflexão é o fenômeno que corresponde à mudança de direção ou sentido de propagação física



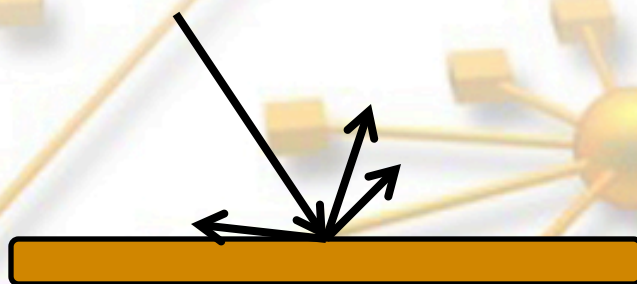
# Refração

- Refração é a passagem do sinal por meios com diferentes índices de refração. A refração modifica a velocidade do sinal.



# Dispersão

- Dispersão é o fenômeno que causa a separação de uma onda em várias componentes espectrais com diferentes frequências, por causa da dependência da velocidade da onda com sua frequência.



# Modelos de Propagação de Sinal

- Modelos de Propagação de Sinal buscam prever a potência média do sinal recebido a uma dada distância de um receptor, bem como o nível de variação desta potência média

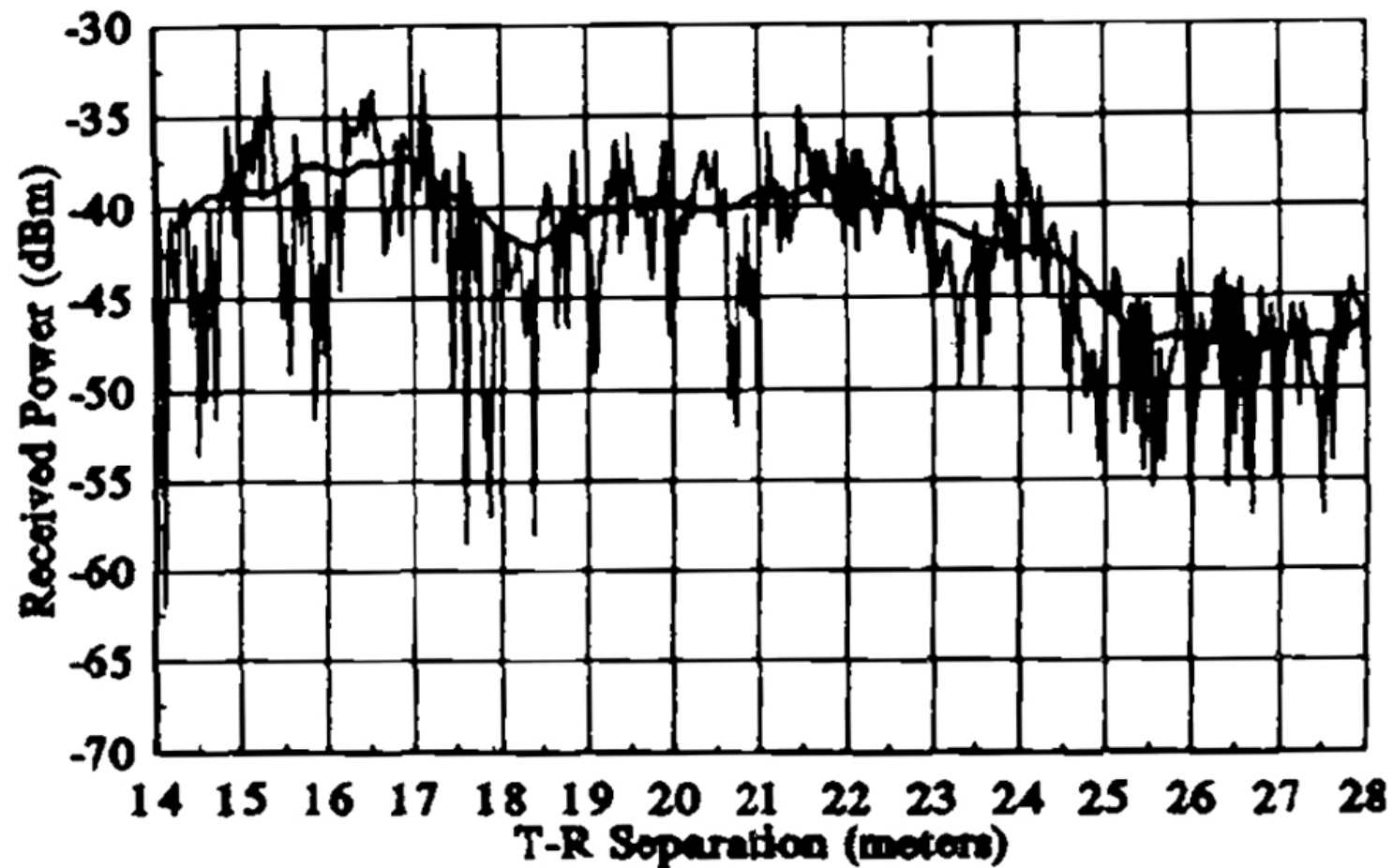




# Modelos de Propagação de Sinal - Tipos

- Modelos de Larga Escala
  - Predição da potência média a uma dada distância
  - Principais modelos
    - Free Space Model
    - Log distance path loss
    - Log-normal shadowing
- Modelos de Pequena Escala
  - Predição dos níveis de variação em torno da potência média a uma dada distância

# Modelos de Propagação de Sinal - Tipos



# Free Space Model

- Modela a perda de sinal que resulta da propagação em linha reta através do espaço livre, sem obstáculos que causem reflexão, refração ou dispersão.
- Equação
  - $PL(d) \propto d^2$

# Log Distance Path Loss

- Útil para a modelagem de perda de sinal indoor ou em áreas densamente povoadas
- Equação
  - $PL(d) = PL(d_0) + 10 n \log (d/d_0)$
  - $PL(d) \propto (d/d_0)^n \propto d^n$
  - **$PL(d) \propto d^n$**

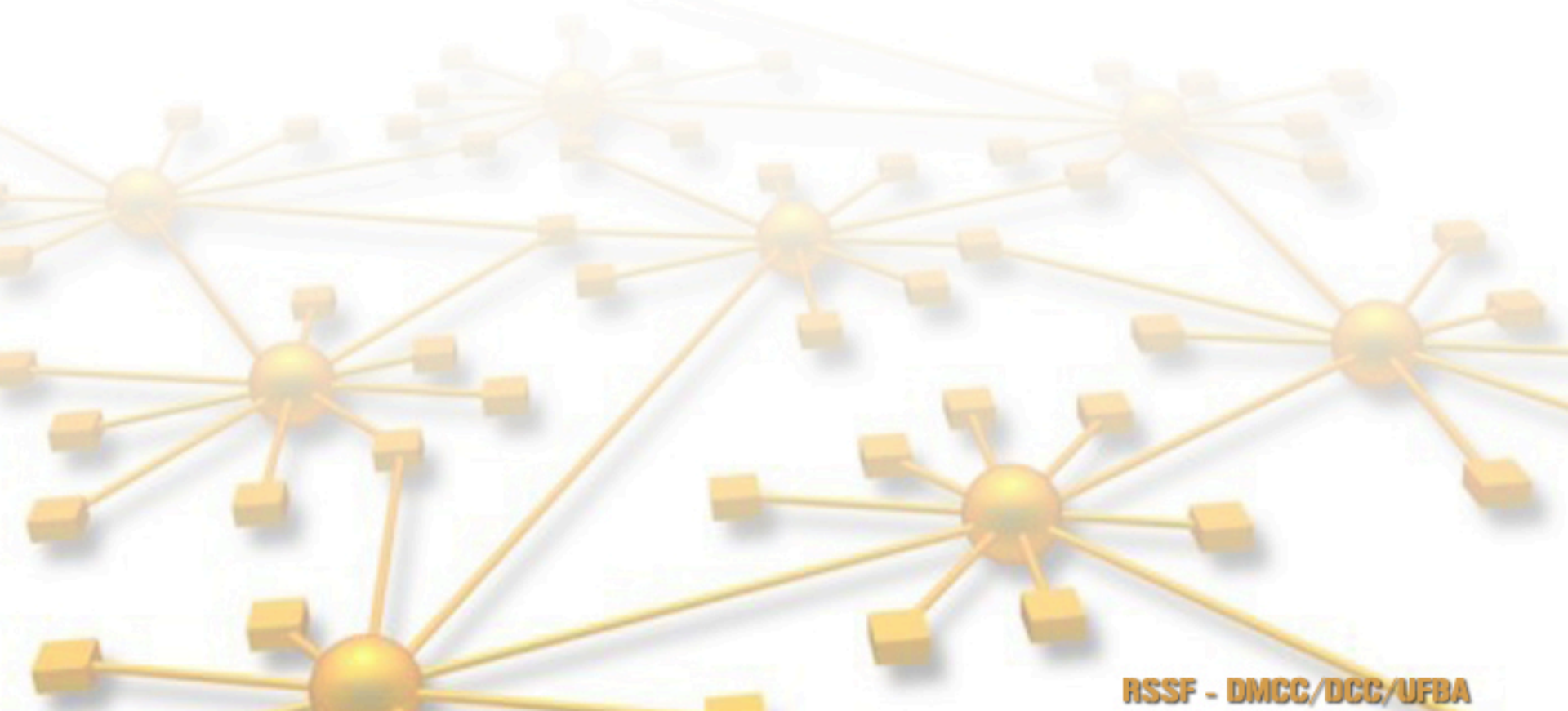


# Log-Normal Shadowing

- Insere no modelo log-distance uma variável aleatória, para modelar o fato das condições ambientais poderem ser bem diferentes em dois pontos à mesma distância do transmissor
- Equação
  - $PL(d) = PL(d_0) + 10 n \log (d/d_0) + X\sigma$
  - $PL(d) \propto (d/d_0)^n$
  - **$PL(d) \propto d^n$**

# Modelos de Propagação de Sinal - Resumo

- A perda de sinal é proporcional a potência da distância

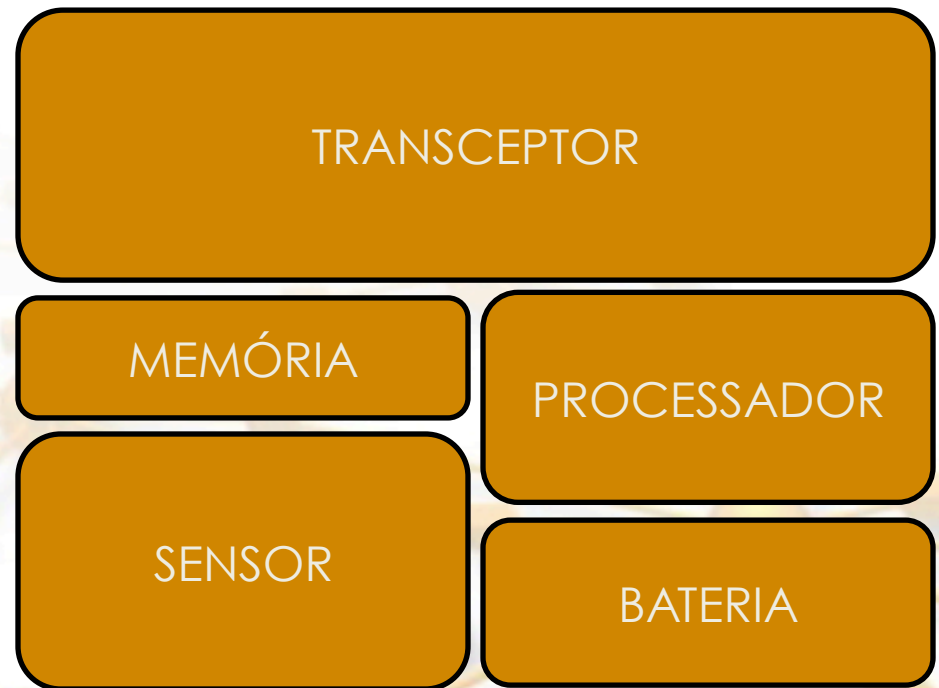




# MODELO DE ENERGIA

# Modelo de Energia (1)

- Elemento provedor de energia
- Elementos consumidores de energia





# Modelo de Energia (2)

- Gasto energético equivalente dos elementos consumidores
  - Processador – 3000 instruções
  - Rádio – Envio de 1 bit a 100m
- Compromisso entre comunicação e computação deve ser resolvido em favor da computação

# Modelo de Energia (3)

- Estados do transmissor
  - Desligado
  - Recebendo ou escutando o canal
  - Transmitindo
    - Rádios podem transmitir a diversos valores de potência
      - Variação contínua
      - Variação discreta
    - Custo de recepção é similar ao custo de transmissão em potência máxima

# Modelos de Consumo Energético

- Custo de Transmissão entre  $u-v$ 
  - $c_u = k_u * d(u,v)^\alpha$  - com  $\alpha \geq 2$
- Custo de Transmissão entre  $u-v$  considerando custo fixo, relativo a manutenção dos elementos consumidores
  - $c_u = cf_u + k_u * d(u,v)^\alpha$  - com  $\alpha \geq 2$

# Modelos de Consumo Energético

- Custo de Transmissão entre u-v
  - $c_u = k_u * d(u,v)^\alpha$  - com  $\alpha \geq 2$
- Custo de Transmissão entre u-v considerando custo fixo, relativo a manutenção dos elementos consumidores
  - $c_u = cf_u + k_u * d(u,v)^\alpha$  - com  $\alpha \geq 2$



# Modelos de Consumo Energético

- Custo de Transmissão entre u-v considerando escuta de v
  - $c_u = cf_u + k_u * d(u,v)^\alpha + cr_v$  - com  $\alpha \geq 2$
- Custo de Transmissão entre u-v considerando escuta dos nós alcançáveis pela transmissão
  - $c_u = cf_u + k_u * d(u,v)^\alpha + \sum_{d(u,s) \leq d(u,v)} cr_s$  - com  $\alpha \geq 2$



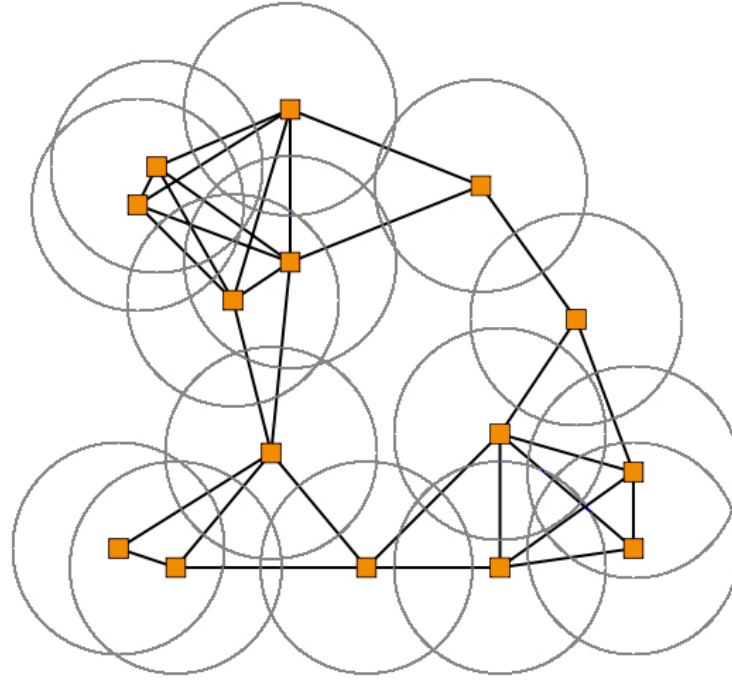
# MODELOS DE CONECTIVIDADE

# Unit Disk Graph

- No UDG representa-se cada vértice (nó sensor) através de um círculo, e acrescenta-se uma aresta entre cada par de vértice se os círculos correspondentes se cruzam
- Hipóteses
  - Todos os nós estão no  $\mathbb{R}^2$
  - Todos os nós têm exatamente a mesma faixa de transmissão (normalizado para um)
  - Não existe obstáculos entre T-R

# Unit Disk Graph - Definição

- O UDG é definido da seguinte forma:
  - Aresta entre  $u$  e  $v$  se  $|u-v| \leq 1$
  - Não existe aresta entre  $u$  e  $v$  se  $|u-v| > 1$





# Unit Disk Graph

- Unit Disk Graph é o modelo de conectividade mais largamente utilizado
- Distante da realidade
  - Contudo apresenta inúmeros resultados teóricos



# Quase-Unit Disk Graph

- No QUDG, as bordas do sinal são menos precisas.
  - Existe uma área, na qual não se pode ter certeza se existe uma relação de conectividade entre T-R.
  - Modelo um pouco mais genérico que o UDG.
  - Restritivo o suficiente para não eliminar a possibilidade de se obter resultados teóricos úteis.

# Quase-Unit Disk Graph

- O QUDG é definido da seguinte forma
  - Aresta entre  $u$  e  $v$  se  $|u-v| \leq d$
  - Não existe aresta entre  $u$  e  $v$  se  $|u-v| > 1$
  - Pode existir uma aresta se  $d < |u-v| \leq 1$



# Relação UDG - QUDG

- O UDG é uma situação particular do QUDG com  $d=1$
- Se  $R/r \leq \sqrt{2}$ , as propriedades de conectividade do UDG se mantêm no QUDG







# CONTROLE DE ACESSO AO MEIO

# Controle de Acesso ao Meio

- Importante no gasto de energia em redes densas como as RSSFs
- Soluções tradicionais não aplicáveis, devido ao padrão de comunicação diferenciado das RSSFs
  - Exemplo: CSMA-CA – custo de escuta constante inviabiliza sua aplicação

# Motivos para o Gasto de Energia

- Colisão
  - Um nó recebe mais de um pacote ao mesmo tempo, mesmo que parcialmente, e há interferência na recepção
- Sobre-escuta
  - Um nó recebe uma transmissão que não é destinado a ele
- Overhead devido a dados de controle
  - Aumento da quantidade ou tamanho das mensagens, em função da troca de informações de controle do protocolo

# Motivos para o Gasto de Energia

- Escuta ociosa
  - Um nó fica escutando o meio, sem que haja nenhuma mensagem a ser consumida
- Sobre-transmissão
  - Transmissão de uma mensagem, sem que o destinatário esteja pronto para recebê-la, por exemplo, rádio desligado

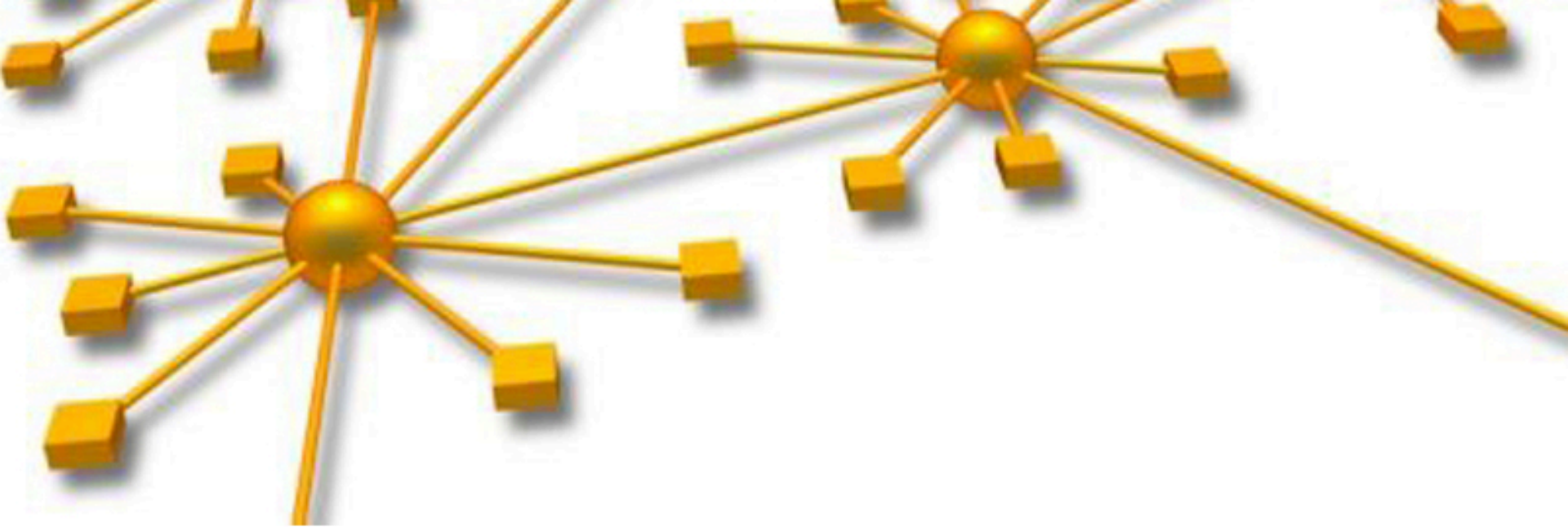


# Padrões Típicos de Comunicação

- Padrões típicos de comunicação particulares
  - *Broadcast* ou Difusão - um dos elementos da rede envia uma mensagem para todos os outros elementos da rede
  - *Local Gossip* – o sensor comunica-se com a sua vizinhança
  - *Convergecast* - um conjunto de sensores envia uma mensagem para um elemento centralizador de informações

# Abordagens das Soluções

- Sincronizadas
  - Pacotes de sincronização
  - Escuta periódica
    - Alternância de períodos de rádio ativo e de rádio desligado – duty cycle
  - Exemplos: S-MAC, 802.15.4, T-MAC
- Não Sincronizadas
  - Não existe mensagem de sincronização
  - Usa-se uma longa mensagem de preâmbulo (ou várias mais curtas) para anunciar a um nó que ele vai receber uma mensagem
  - Exemplos: X-MAC, Wise-MAC, B-MAC
- Evita Colisão
  - Usam dois canais: um com contenção para a disputa do meio (mensagens de controle) e um segundo, escalonado, livre de colisão para troca de dados
  - Exemplo - TRAMA



# CONTROLE DE TOPOLOGIA

# Controle de Topologia

- Controle de Topologia é o problema de ajustar a potência de transmissão dos nós de uma rede sem fio de forma a diminuir o consumo de energia, reduzir a interferência e aumentar a vazão, mantendo uma determinada propriedade desejada.



# Propriedade desejada

- Sem reduzir “muito” a conectividade da rede
  - Conectividade
  - k-redundância
  - Diâmetro máximo



# Taxonomia de Controle de Topologia (1)

- Homogêneo
  - Considera que a potência de transmissão definida, deve ser a mesma para todos os nós sensores
  - CTR – Critical Transmitting Range
- Não-Homogêneo
  - Considera que a potência de transmissão pode ser definida individualmente para cada nó sensor
  - Possui três classes de soluções baseado no tipo de informação utilizado para o cálculo da topologia

# Taxonomia de Controle de Topologia (2)

- Não Homogêneo
  - Baseado em Localização
  - Baseado em Direção
  - Baseado em Vizinhança



# Alg. Baseados em Localização

- A posição exata dos nós é conhecida
  - Nós equipados com GPS
  - Mensagens trocam informações de posicionamento entre vizinhos
- Exemplo – MECN
  - Baseia-se em conceitos geométricos.
  - Busca definir um conjunto de vizinhos que garanta a formação de uma região fechada de retransmissão



# Alg. Baseados em Direção

- Nós conseguem detectar a exata direção de onde uma transmissão se origina
  - Nós não equipados com GPS
  - Um nó consegue estimar a distância de um outro nó  $u$  através da potência de transmissão usada por  $u$  e o nível de recepção da mensagem (hipótese não assumida explicitamente)
- Exemplo - CBTC( $\alpha$ )
  - Valor de  $\alpha$  igual a  $5\pi/6$  é condição necessária e suficiente para garantia de conectividade, caso o grafo de conectividade original seja conexo.

# Alg. Baseados em Vizinhoana

- Os n3s conhecem a identifica3o dos seus vizinhos e consegue estabelecer uma rela3o de ordem entre eles
  - Mensagens trocam informa33es de identifica3o entre vizinhoana de dois saltos
- Exemplo - XTC
  - Vizinhos s3o ordenados e um n3o s3o 3 selecionado para uma aresta no grafo final de conectividade, se n3o existir nenhum n3o alcan3vel por um de grau menor que o alcance
  - Artigo prova que o grau m3ximo de um n3o no grafo final 3 6



# DIFUSÃO

# Difusão em RSSFs

- Difusão é a tarefa de disseminar uma mensagem na rede a partir de um nó fonte, de forma que esta mensagem alcance todos os demais nós que compõem a rede.





# Difusão de Energia Mínima

- Dado um nó fonte específico que inicia a difusão, o problema consiste em determinar o conjunto de nós e a potência de transmissão correspondente, tal que a soma da potência consumida pelos nós seja minimizada.

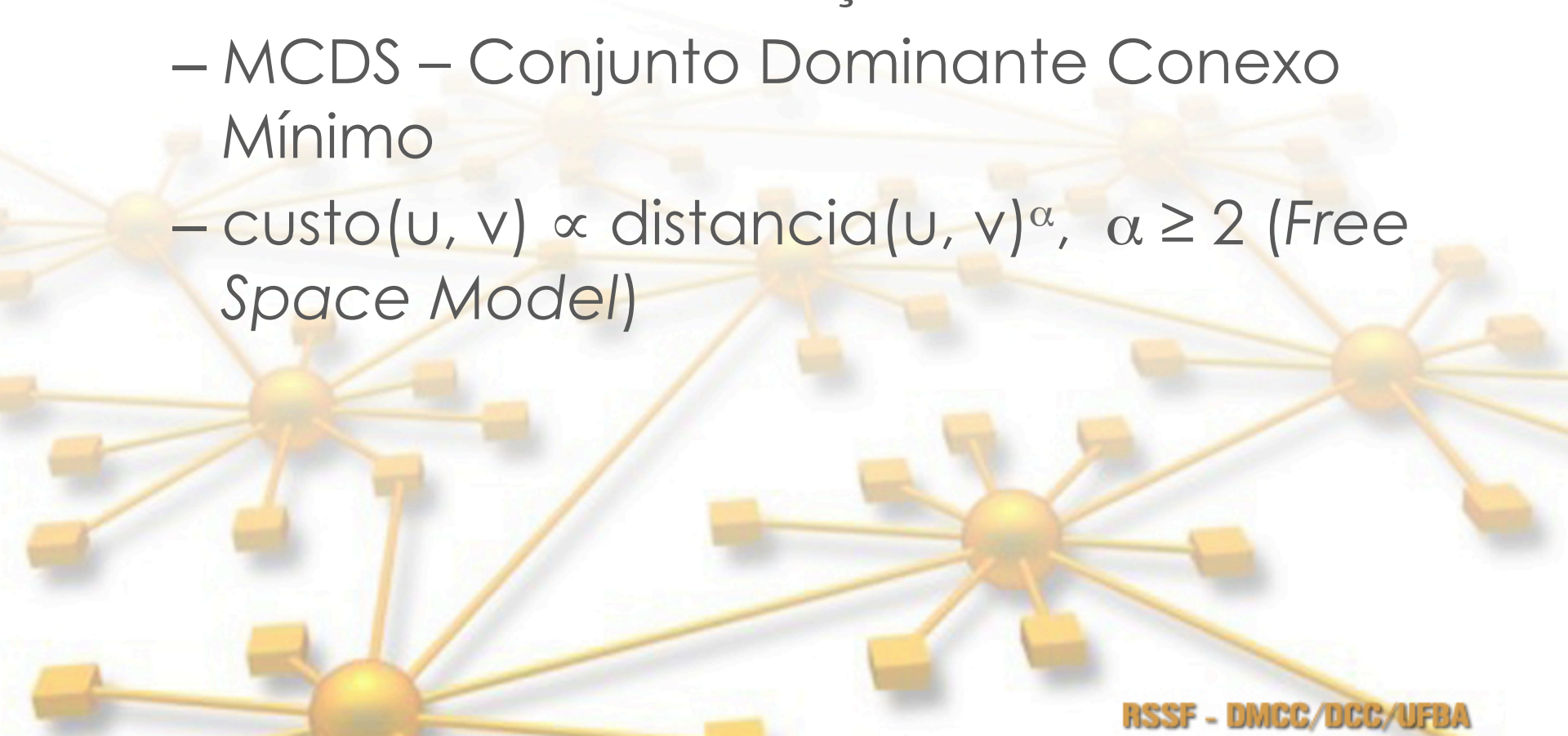
# Definição do Problema (1)

- Flooding
  - Mensagens retransmitidas desnecessariamente
  - Aumento de interferência e colisões



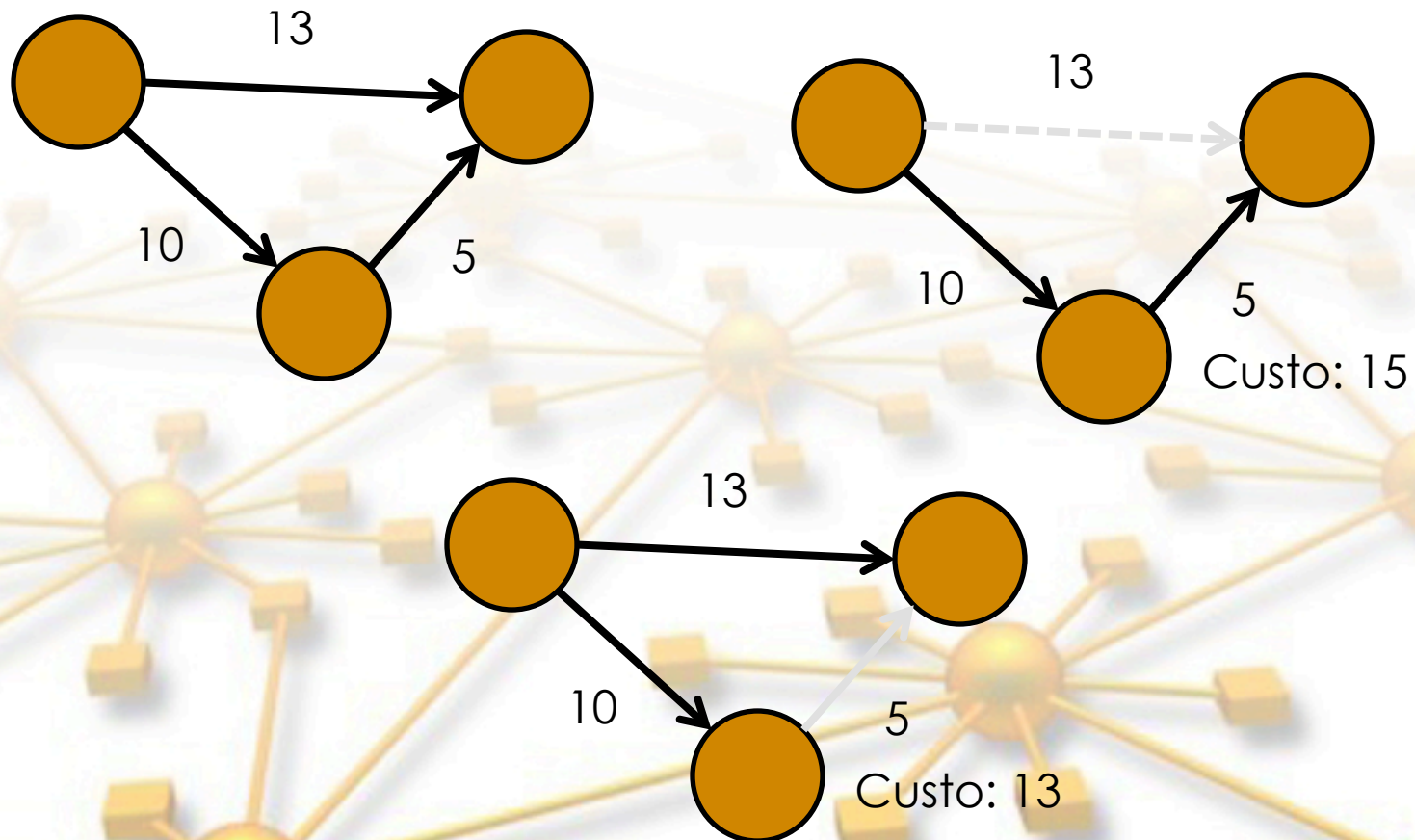
# Definição do Problema (2)

- Definição do menor sub-conjunto cuja retransmissão alcança toda a rede
  - MCDS – Conjunto Dominante Conexo Mínimo
  - $\text{custo}(u, v) \propto \text{distancia}(u, v)^\alpha$ ,  $\alpha \geq 2$  (*Free Space Model*)



# Definição do Problema (3)

- Definição de Árvore Geradora Mínima





# Definição do Problema (4)

- MECBS
  - O problema do Sub-grafo de Difusão com Consumo Mínimo de Energia (MECBS) é atribuir pesos aos nós  $v$ , de forma que para qualquer nó  $u \in V - \{r\}$ , exista um caminho dirigido de  $r$  para  $u$ , no grafo de transmissão  $G_w$ , e que, adicionalmente, a soma dos pesos atribuídos seja minimizada.
- Abordagens
  - Considerar a natureza baseada em nós da rede
  - Considerar a função de modelagem de custos

# Definição do Problema (5)

- MLB
  - Maximum Lifetime Broadcast problem
    - E quando uma série de difusões é efetuada?
    - Usar os mesmos nós matará a rede mais rápido
    - Considerar a reserva de energia de cada nó
      - Transmissor
      - Receptor
  - Fornecer uma série de escalonamentos de atribuições de potências aos nós da rede, cada um deles válido por um período de tempo, que maximize o número de difusões realizadas com sucesso.



# TIPOS DE SOLUÇÕES PARA PROBLEMAS EM RSSF

# Tipos de Algoritmos

- Centralizados
- Distribuídos
- Distribuídos-Localizados
  - Reduzir a quantidade e tamanho das mensagens trocadas
  - Extensível
  - Mais fácil de se ajustar a mudanças de topologias por falhas ou mobilidade





# CONCLUSÃO

# Minha Pesquisa

- Problema:
  - Difusão Confiável (MECBS)
  - Network Lifetime (MLB)
  - Dinamismo (Falhas e Mobilidade)
- Modelos:
  - Free Space Model,
  - Custos de Transmissão, Fixo
  - Recepção da Vizinhança, UDG
- Tipo de Solução:
  - Algoritmos distribuídos localizados

# Conclusões

- Área de grande interesse
- Muitos resultados baseados em simulação e casos médio
- Modelos teóricos são úteis para definição de impossibilidades e limites