

CPE710: Redes Móveis

Prof. Miguel Elias Mitre Campista

`http://www.gta.ufrj.br/~miguel`

CPE710: Redes Móveis

REDES TOLERANTES A ATRASOS E DESCONEXÕES

Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões

- Até o momento...
 - Comunicações por múltiplos saltos exigiam caminhos pré-estabelecidos entre pares fonte-destino
 - Caminhos usados para encaminhamento de pacotes
- Em redes sem fio, porém...
 - Enlaces podem falhar com frequência como consequência de:
 - Variações rápidas de qualidade, mobilidade dos nós e falta de cooperação de outros nós...

Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões

- Até o momento...
 - Comunicações por múltiplos saltos exigiam caminhos pré-estabelecidos entre pares fonte-destino

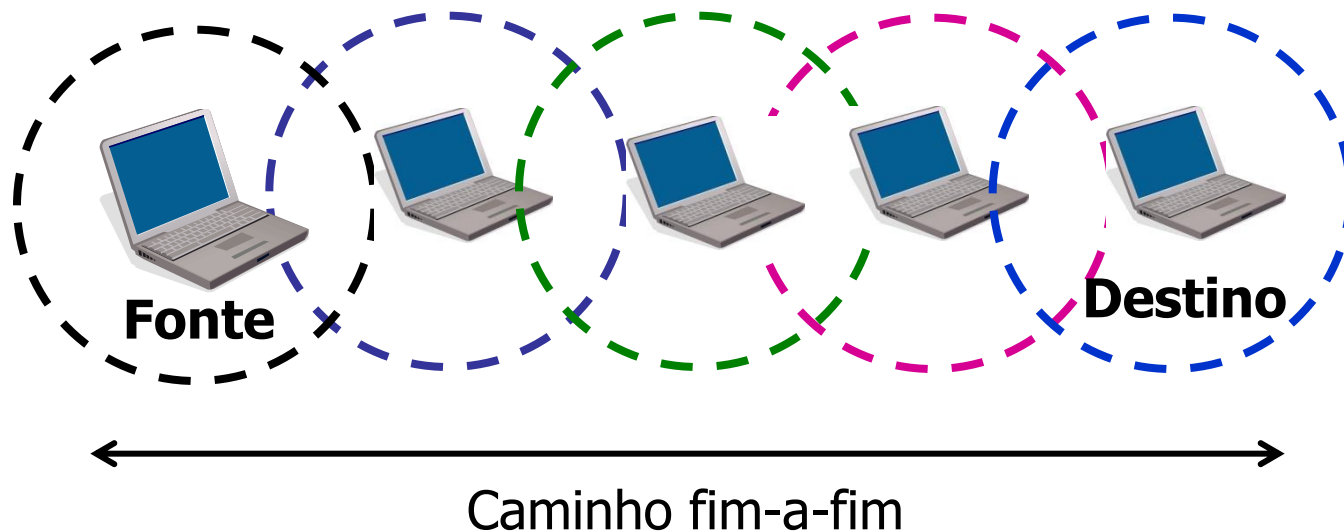
- *Caminhos usados para encaminhamento de pacotes*

O que fazer, então, em Ambientes “Desafiadores” nos quais a conectividade é intermitente ou não existente?

- *Variações rápidas de qualidade, mobilidade dos nós e falta de cooperação de outros nós...*

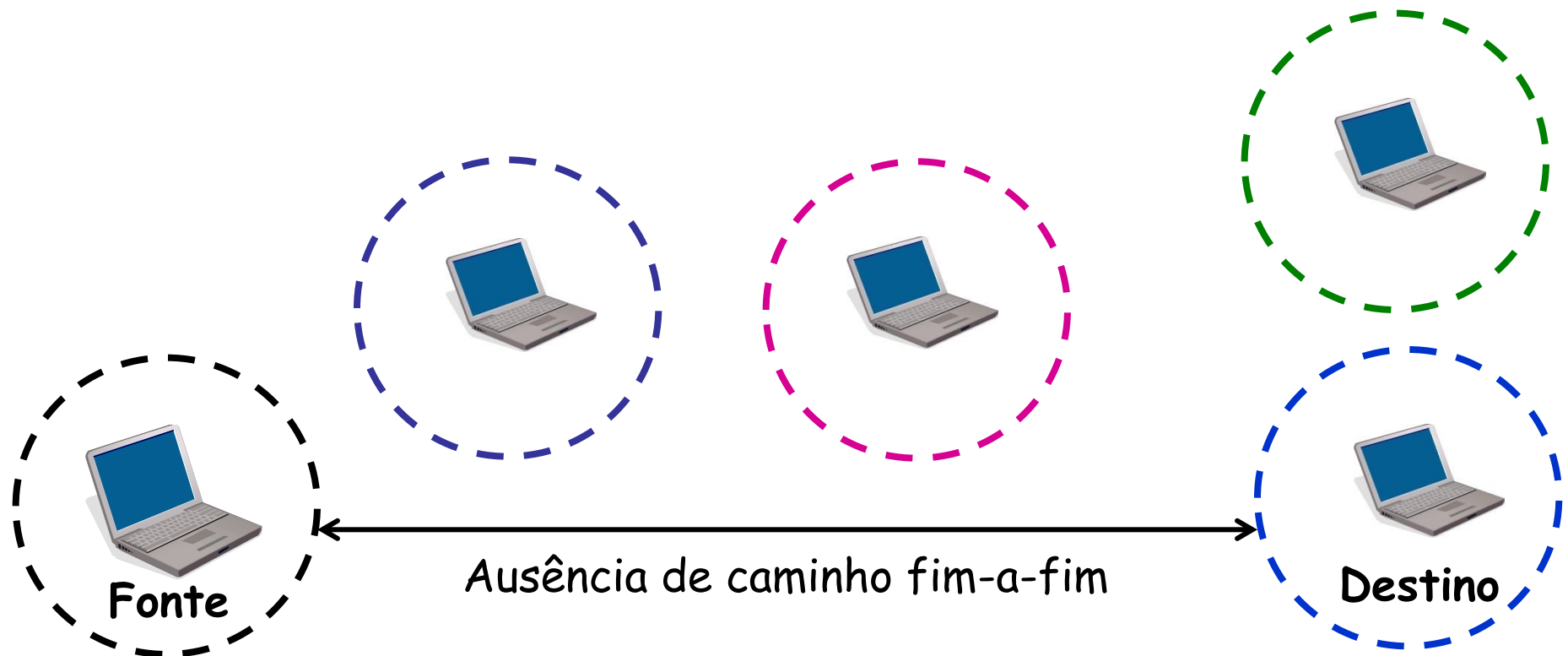
Ambientes "Desafiadores"

- **Cenário 1: *Mobile Ad hoc NETWORKS (MANETS)***
 - Alta mobilidade dos nós causa frequentes desconexões



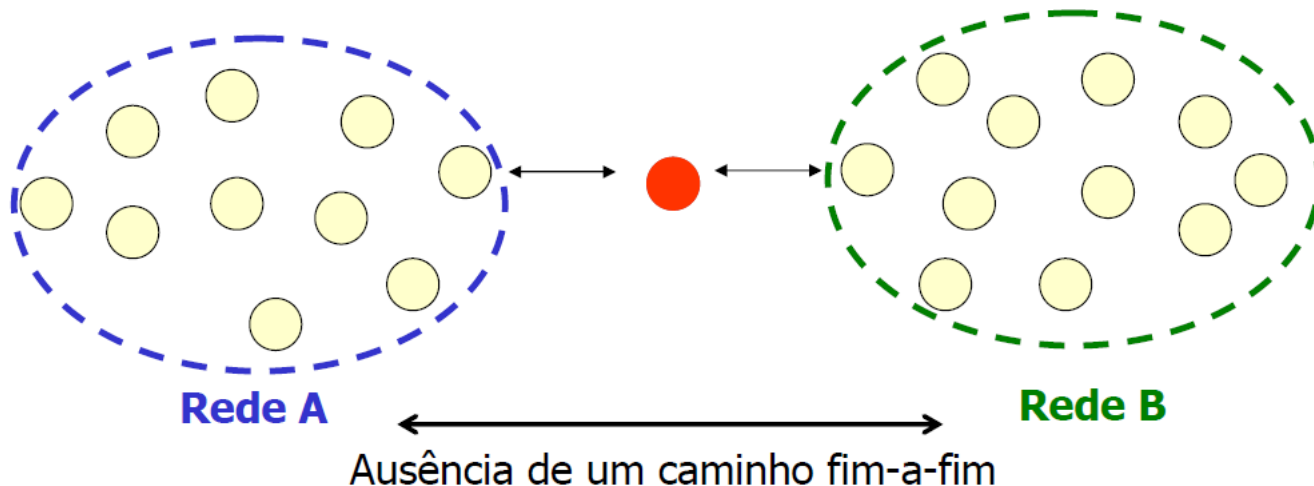
Ambientes "Desafiadores"

- **Cenário 1: *Mobile Ad hoc NETWORKS (MANETS)***
 - Alta mobilidade dos nós causa frequentes desconexões



Ambientes "Desafiadores"

- **Cenário 2: Redes de sensores sem fio**
 - Economia de recursos dos nós resulta em uma conectividade intermitente

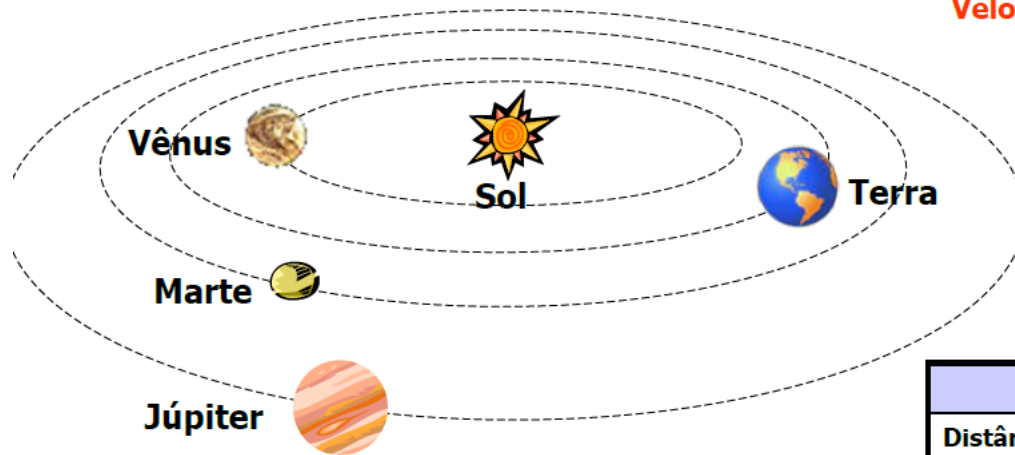


Ambientes "Desafiadores"

- **Cenário 3: Redes interplanetárias**

- Grande distância entre os planetas causa atrasos da ordem de horas ou dias

Unidade Astronômica (UA) \cong 149.598.000 km
Velocidade da luz \cong 300.000 Km/s



Distância do Sol	
Vênus	0,72UA
Terra	1UA
Marte	1,52UA
Júpiter	5,20UA

Terra – Júpiter	
Distância Máxima = 6,20UA	51 min
Distância Mínima = 4,20UA	35 min

Principais Características dos Ambientes “Desafiadores”

- Atrasos longos e/ou variáveis
 - Componentes do atraso fim-a-fim:
 - Tempo de espera, atraso nas filas, atraso de transmissão, atraso de propagação...
- Frequentes desconexões ou conectividade intermitente
 - Principais causas:
 - Alta mobilidade dos nós, péssimas condições de comunicação, economia de recursos dos nós...

Por que o TCP/IP não Funciona Nesses Ambientes?

Por que o TCP/IP não Funciona Nesses Ambientes?

- Principal causa: **Operação do TCP!**
 - Protocolo de transporte orientado a conexão
 - Garante confiabilidade na entrega dos dados fim-a-fim

Assume uso em redes conectadas...

Como Contornar os Problemas de Atrasos e Desconexões?

Como Contornar os Problemas de Atrasos e Desconexões?

- Não é possível assumir a existência de caminhos fim-a-fim!
 - Comunicações não são estabelecidas diretamente entre origem-destino
 - Fluxo ininterrupto de pacotes pode não ser possível

**Comutação de pacotes
Vs.
Comutação de mensagens**

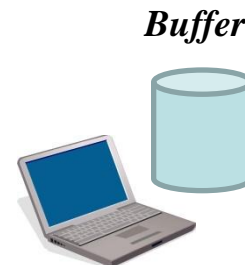
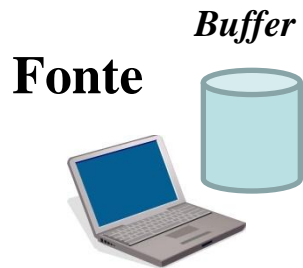
Como Contornar os Problemas de Atrasos e Desconexões?

- Técnica de comutação de mensagens
 - Nenhum caminho é estabelecido com antecedência entre fonte e destino
 - Mensagens são armazenadas e encaminhadas nó a nó da origem até o destino
- Armazenamento persistente dos dados

Redes IP	Redes em Ambientes "Desafiadores"
Tempo de armazenamento da ordem de milissegundos	Tempo de armazenamento da ordem de horas ou dias
Armazenamento em memórias dinâmicas Ex.: chips de memórias de roteadores	Armazenamento persistente e robusto Ex.: disco rígido, memória flash de dispositivos portáteis

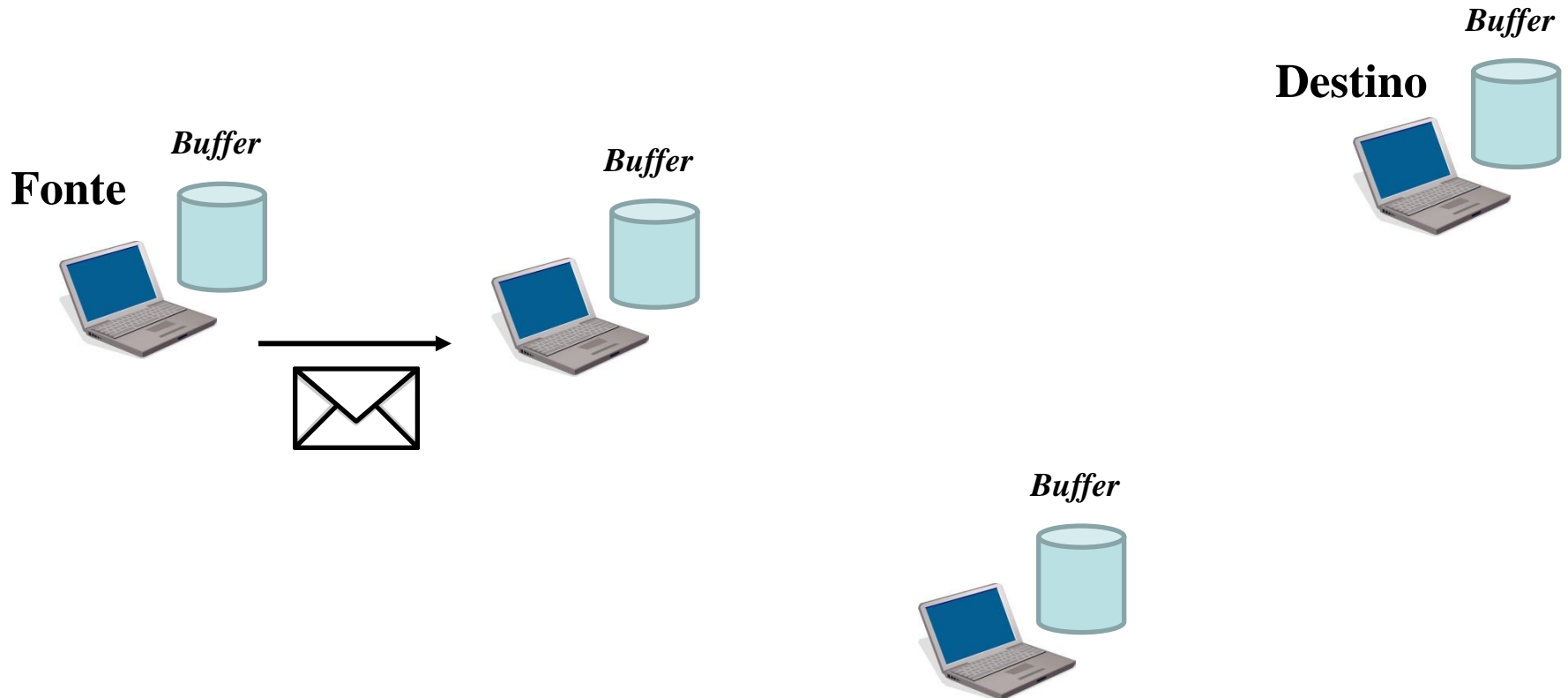
Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões

- Redes do tipo armazena-carrega-e-encaminha (*store-carry-and-forward*)



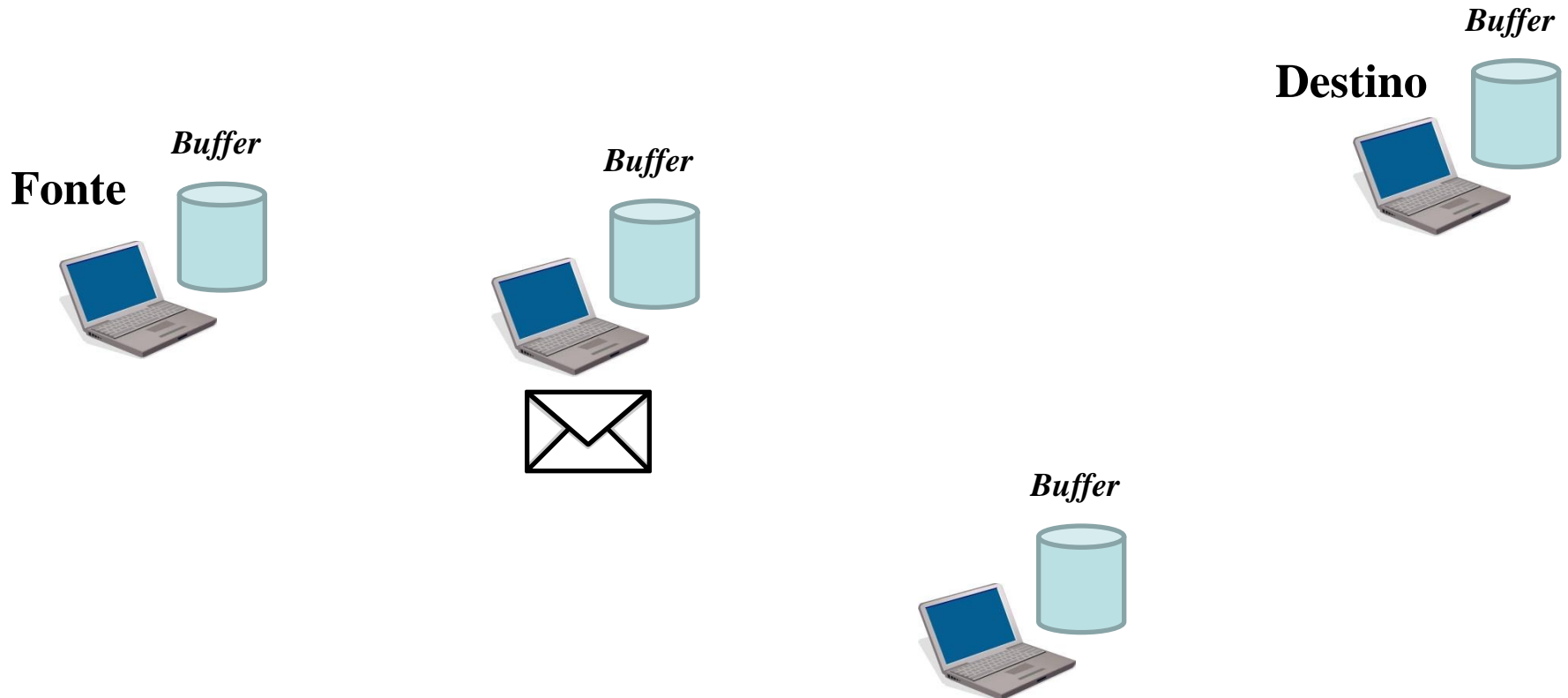
Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões

- Redes do tipo armazena-carrega-e-encaminha (*store-carry-and-forward*)



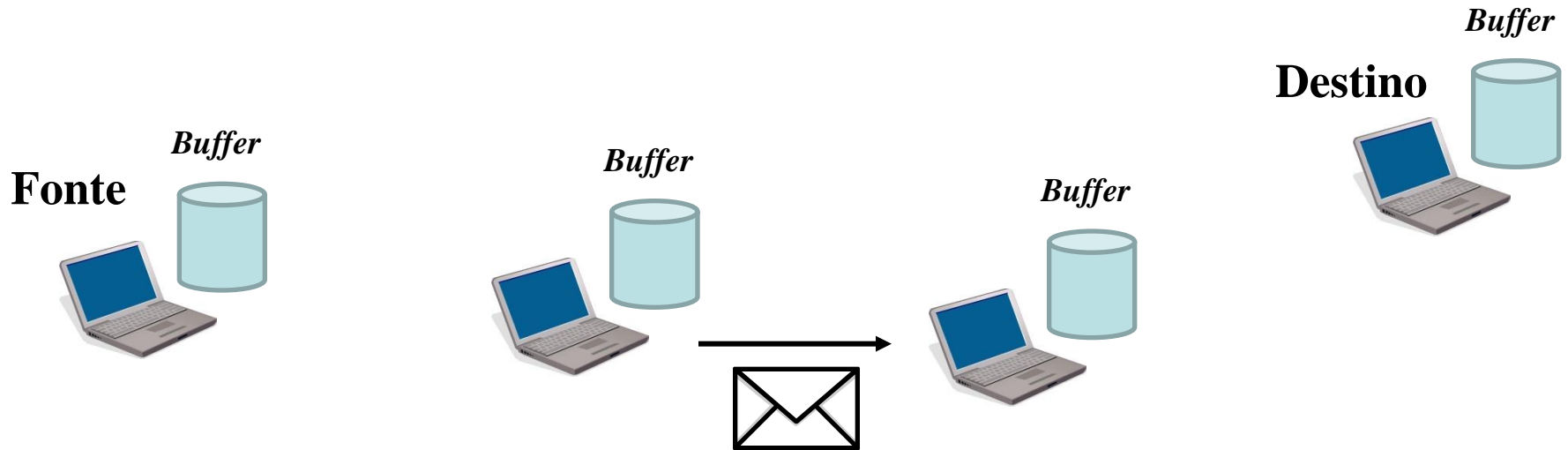
Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões

- Redes do tipo armazena-carrega-e-encaminha (*store-carry-and-forward*)



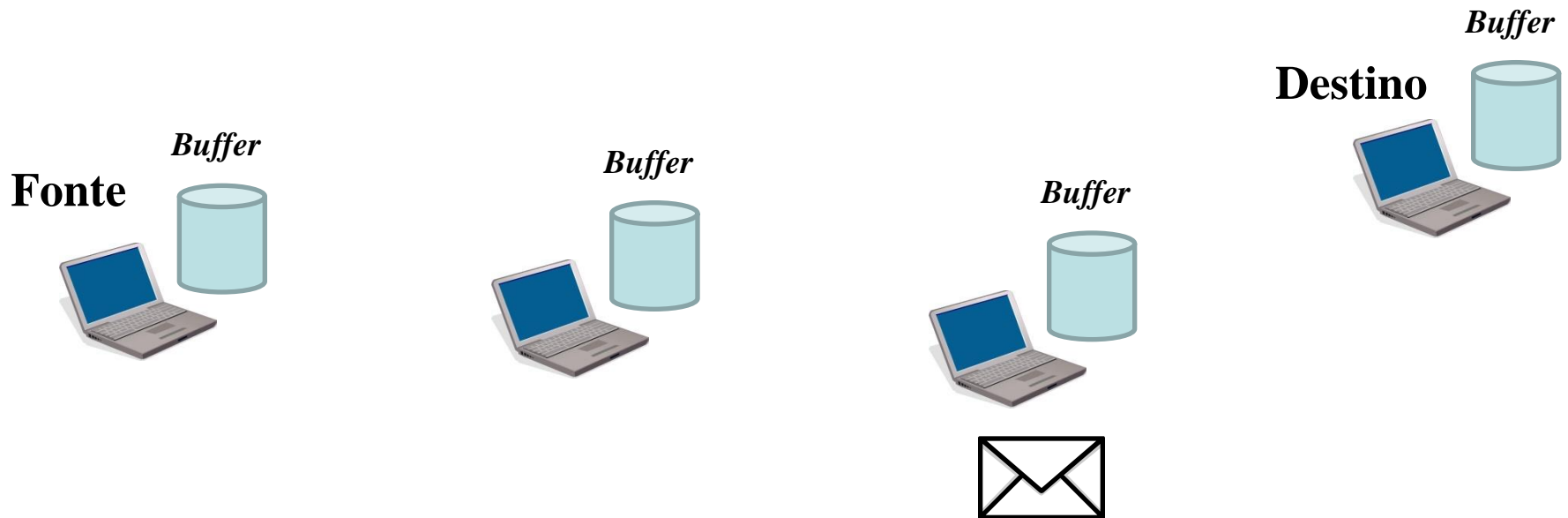
Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões

- Redes do tipo armazena-carrega-e-encaminha (*store-carry-and-forward*)



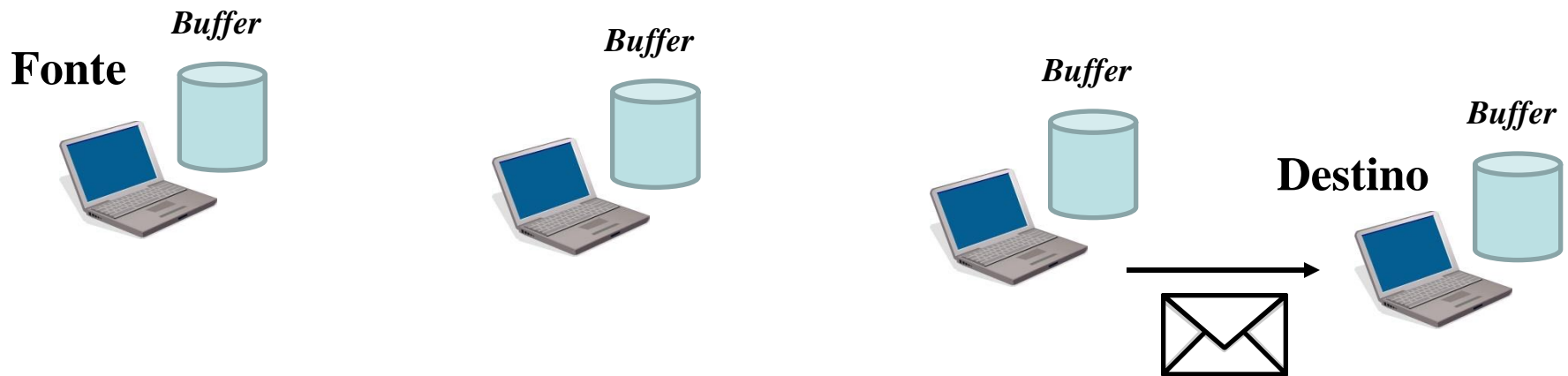
Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões

- Redes do tipo armazena-carrega-e-encaminha (*store-and-forward*)



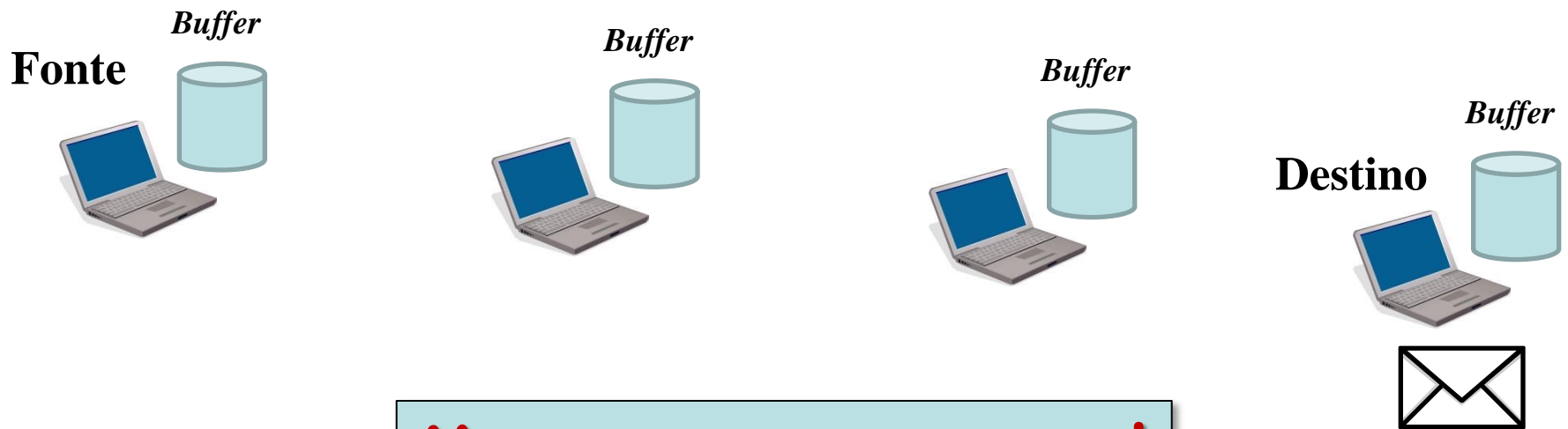
Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões

- Redes do tipo armazena-carrega-e-encaminha (*store-carry-and-forward*)



Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões

- Redes do tipo armazena-carrega-e-encaminha (*store-carry-and-forward*)



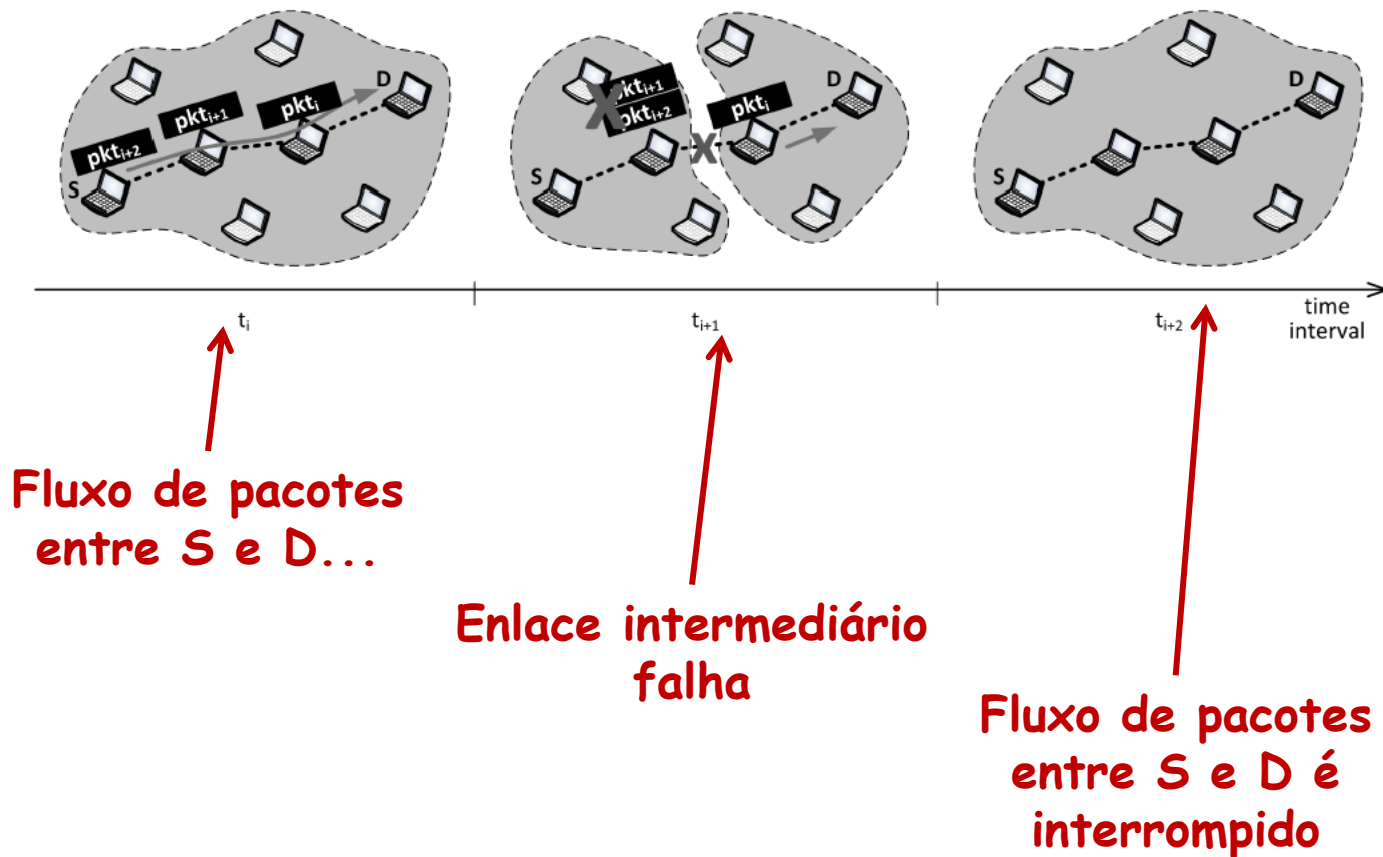
Mensagem entregue!

Armazena-carrega-e-encaminha

- Mensagens (*bundles*) são as unidades de dados
 - *Bundles* são comutados salto-a-salto ao invés de pacotes
- Nós intermediários não podem descartar os *bundles* recebidos para destinos desconhecidos
 - *Bundles* devem ser armazenados de forma persistente e encaminhados para futuros contatos
- Apesar do foco ser redes móveis...
 - A ideia apareceu no contexto de Redes Interplanetárias
 - **Comunicação com longos atrasos**

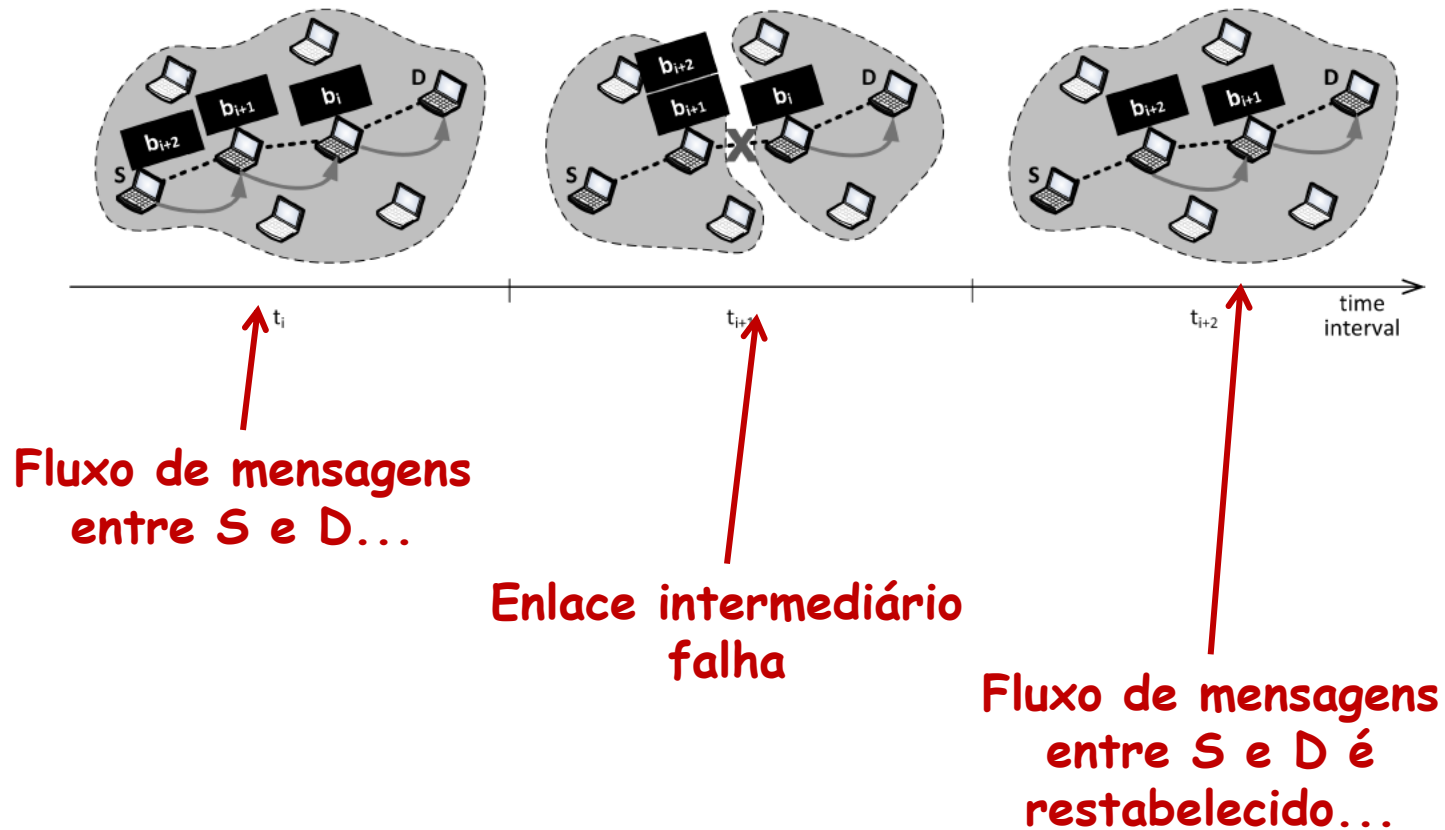
Armazena-carrega-e-encaminha

- Em redes ad hoc...



Armazena-carrega-e-encaminha

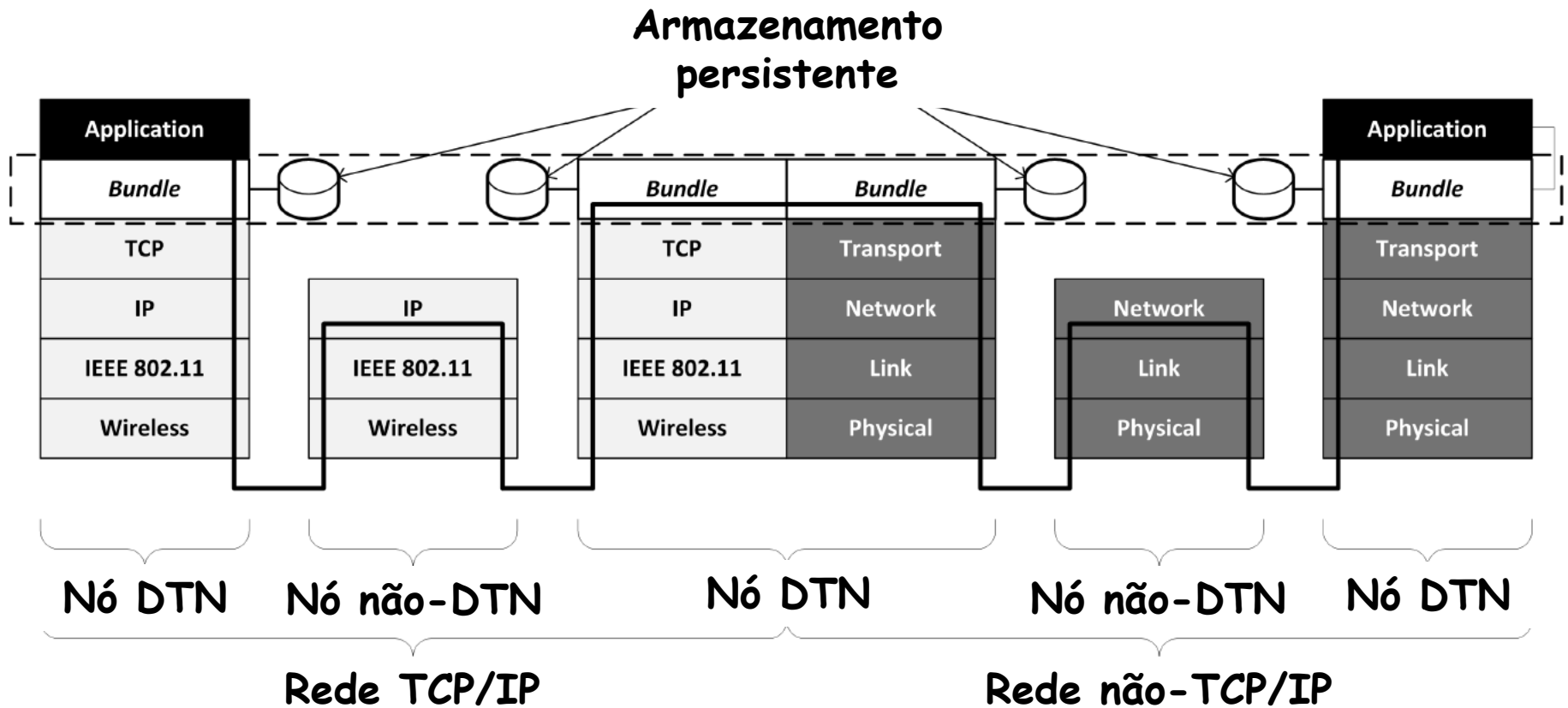
- Em redes DTN...



Arquitetura DTN

- **Camada de agregação (*Bundle Layer*)**
 - Técnica de comutação de mensagens
 - Armazenamento persistente

Arquitetura DTN



Tipos de Contato

- **Conceito de contato**
 - Ocasião favorável para os nós trocarem dados
- **Classificação**
 - Persistente
 - Sob demanda
 - Programado
 - Previsível
 - Oportunista

Tipos de Contato

- Contatos persistentes
 - Contatos sempre disponíveis
 - Ex.: Conexão Internet sempre disponível via DSL
- Contatos sob demanda
 - Requerem alguma ação para que sejam instanciados
 - Após acionados funcionam como contatos persistentes até serem encerrados
 - Ex.: Conexão discada (do ponto de vista do usuário)

Tipos de Contato

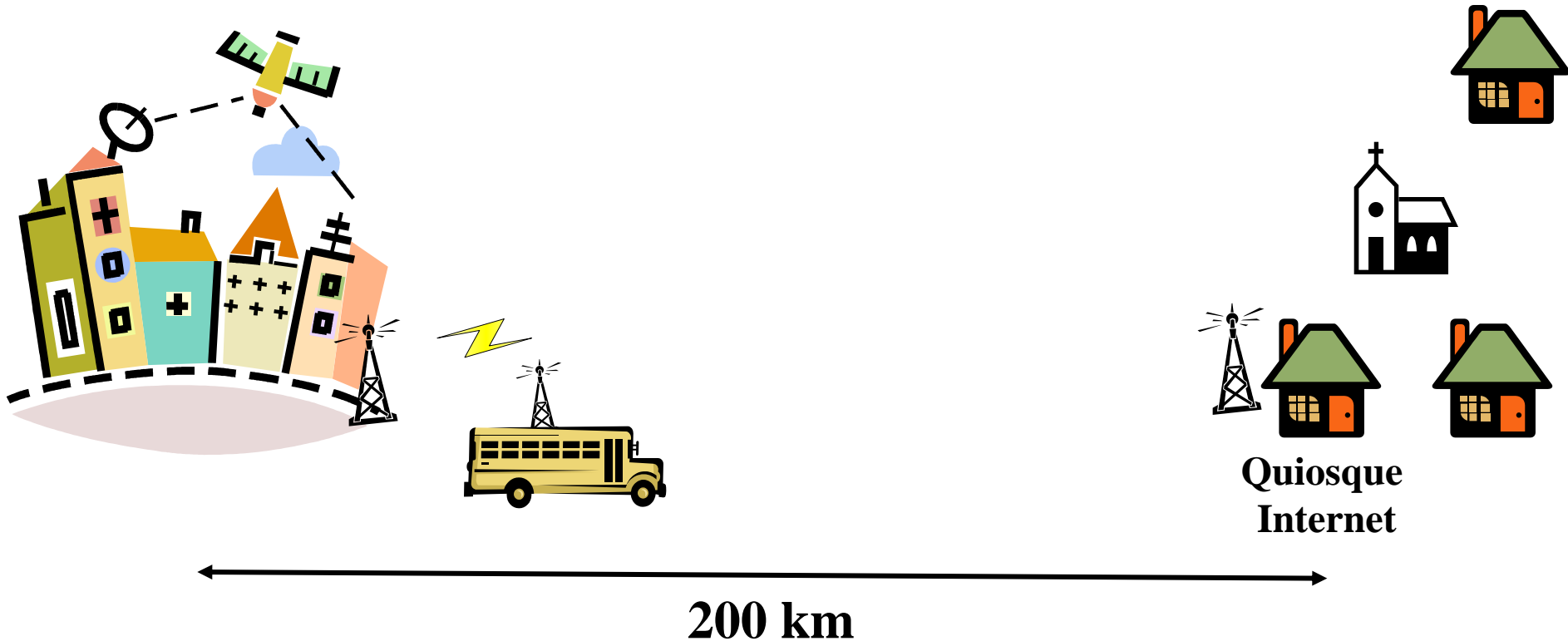
- Contatos programados
 - Horário e duração dos contatos são estabelecidos previamente entre dois ou mais nós antes da troca de informações
 - Exigem a sincronização do tempo na rede
 - Ex.: rede de sensores onde os nós "acordam" e "dormem" em horários preestabelecidos para poupar energia

Tipos de Contato

- Contatos previsíveis
 - Nós fazem previsões sobre o horário e a duração dos contatos
 - Utilizam históricos de contatos previamente realizados
 - Ex.: Rede rural esparsa

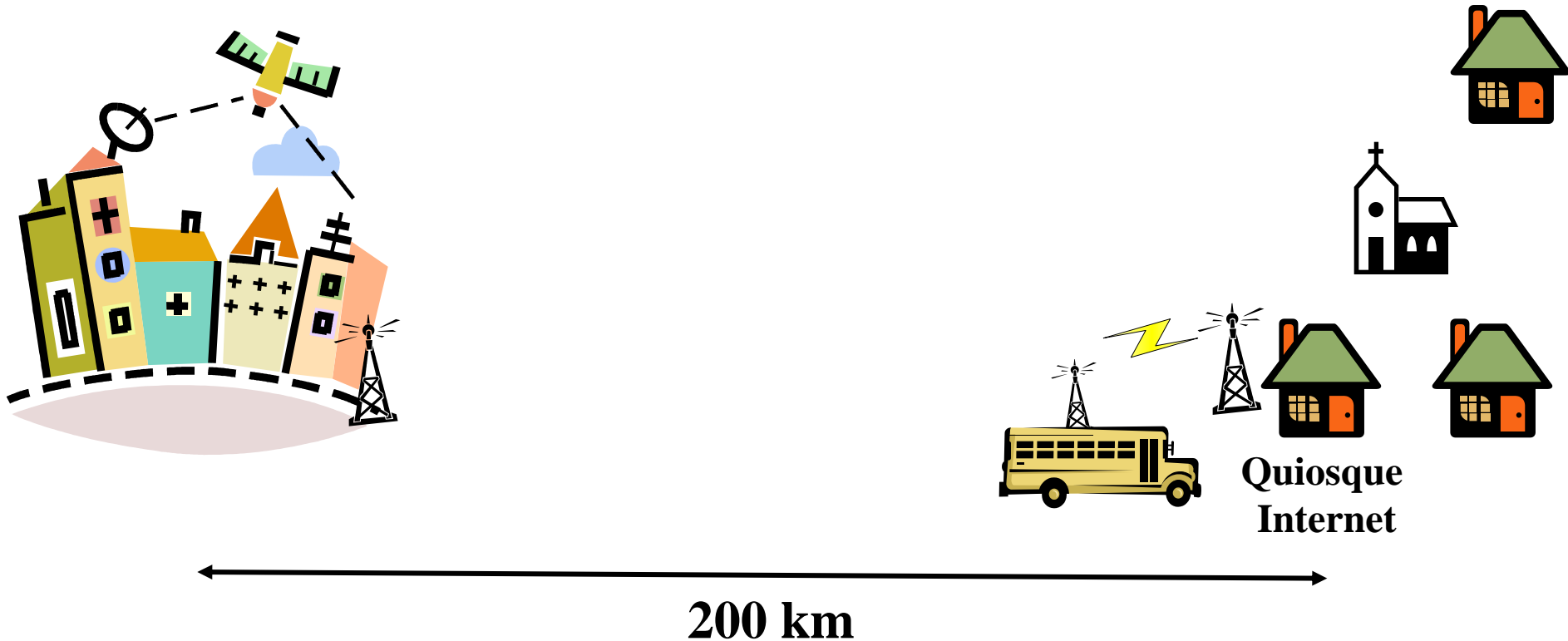
Tipos de Contato

- Contatos previsíveis



Tipos de Contato

- Contatos previsíveis



Tipos de Contato

- Contatos oportunistas
 - Ocorrem diante de encontros não previamente programados
 - Obtêm vantagens de contatos realizados totalmente ao acaso
 - Nós desconhecem informações acerca do estado, da localização ou dos padrões de mobilidade dos outros nós



Maria



Paula

Tipos de Contato

- Contatos oportunistas
 - Ocorrem diante de encontros não previamente programados
 - Obtêm vantagens de contatos realizados totalmente ao acaso
 - Nós desconhecem informações acerca do estado, da localização ou dos padrões de mobilidade dos outros nós



Maria



Paula

Tipos de Contato

- Contatos oportunistas
 - Ocorrem diante de encontros não previamente programados
 - Obtêm vantagens de contatos realizados totalmente ao acaso
 - Nós desconhecem informações acerca do estado, da localização ou dos padrões de mobilidade dos outros nós



Maria



Pedro



Paula

Tipos de Contato

- Contatos oportunistas
 - Ocorrem diante de encontros não previamente programados
 - Obtêm vantagens de contatos realizados totalmente ao acaso
 - Nós desconhecem informações acerca do estado, da localização ou dos padrões de mobilidade dos outros nós



Maria



Pedro



Paula

Tipos de Contato

- Contatos oportunistas
 - Ocorrem diante de encontros não previamente programados
 - Obtêm vantagens de contatos realizados totalmente ao acaso
 - Nós desconhecem informações acerca do estado, da localização ou dos padrões de mobilidade dos outros nós



Maria



Pedro



Paula

Tipos de Contato

- Contatos oportunistas
 - Ocorrem diante de encontros não previamente programados
 - Obtêm vantagens de contatos realizados totalmente ao acaso
 - Nós desconhecem informações acerca do estado, da localização ou dos padrões de mobilidade dos outros nós



Maria



Pedro



Paula

Tipos de Contato

- Contatos oportunistas
 - Ocorrem diante de encontros não previamente programados
 - Obtêm vantagens de contatos realizados totalmente ao acaso
 - Nós desconhecem informações acerca do estado, da localização ou dos padrões de mobilidade dos outros nós



Maria



Paula



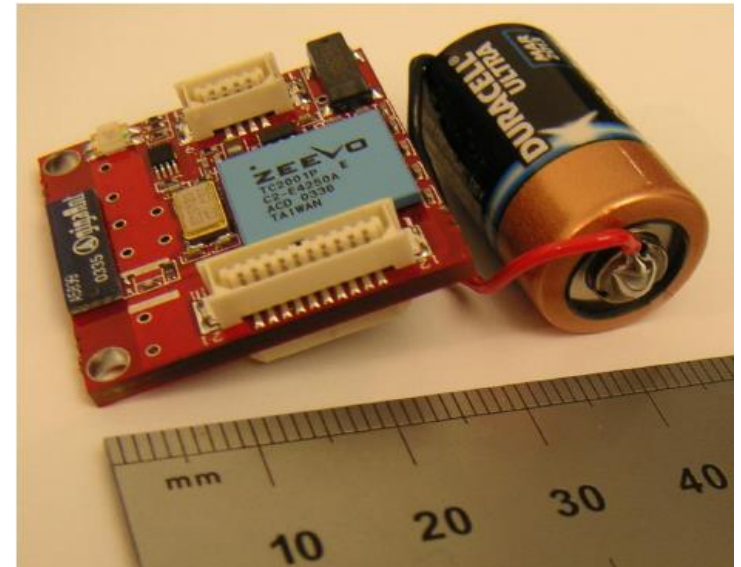
Conectividade Intermitente

Tipos de Contato

- Contatos oportunistas
 - *Pocket Switched Network (PSN)*
 - Modelo de redes que atua dentro do contexto de DTN
 - Dispositivos eletrônicos sem fio
 - Celulares, laptops, PDA, etc.
 - Realizam a comunicação na ausência de uma conectividade fim-a-fim
 - Obtêm vantagem de qualquer oportunidade de transmissão ao longo do trajeto do dispositivo móvel

Tipos de Contato

- *Pocket Switched Network (PSN)*
 - Distribuição de um jornal eletrônico em Cambridge - Inglaterra



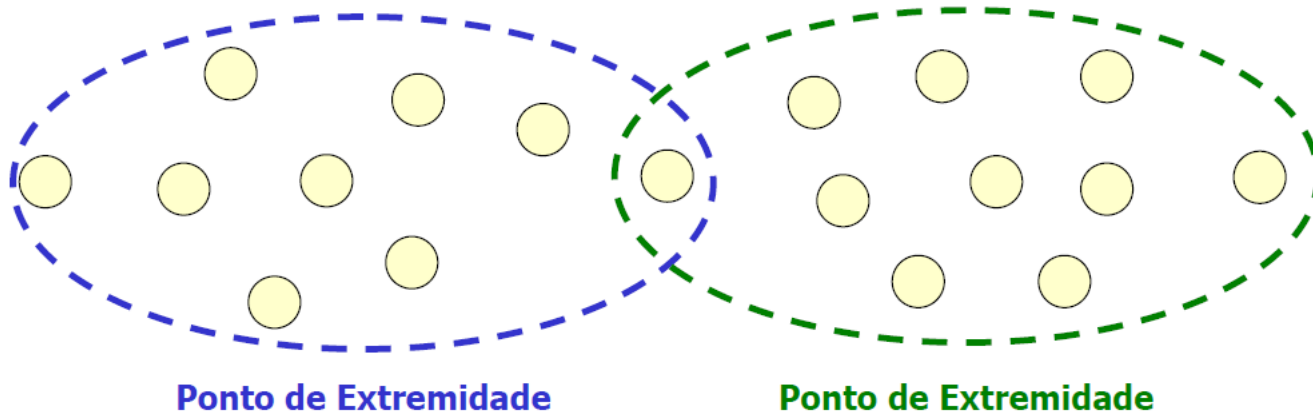
iMote

Tipos de Contato

- Trazem informações classificadas como:
 - Determinísticas
 - Ocorrem em contatos persistentes, sob demanda e programáveis
 - Estocásticas
 - Ocorrem em contatos previsíveis e oportunistas
- Conhecimento dos tipos de contatos ajuda no encaminhamento de mensagens
 - Infos determinísticas são usadas no encaminhamento
 - Infos estocásticas são complementadas para o encaminhamento

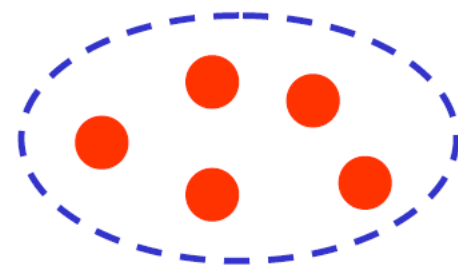
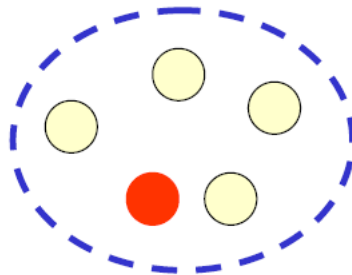
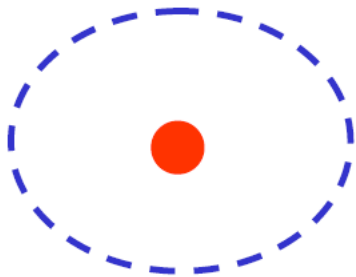
Endpoint DTN

- Grupo de nós DTN
 - Pode ter apenas um nó
- Um nó pode fazer parte de um ou mais endpoint
- Abstração semelhante a um grupo multicast



Endpoint DTN

- Grupo mínimo de recepção (*Minimum Reception Group* - MRG)
 - Subconjunto mínimo de endpoints que devem receber um agregado para que ele seja considerado entregue
 - Referências do MRG
 - Um único nó (unicast)
 - Um nó dentro do endpoint (anycast)
 - Todos os nós do endpoint (multicast ou broadcast)



Endpoint DTN

- Identificador Endpoint (Endpoint Identifier - EID)
 - Nome expresso sintaticamente como um identificador uniforme de recursos (*Uniform Resource Identifier - URI*)
 - Gerenciado globalmente pelo Internet Assigned Numbers Authority (IANA)

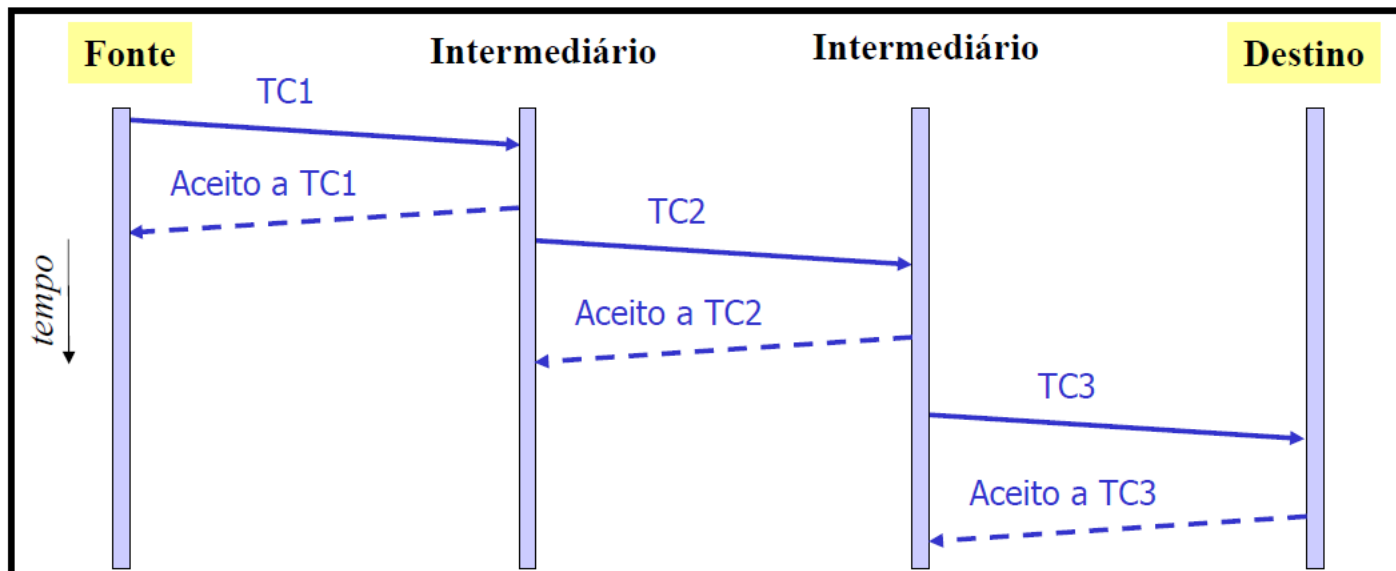
<nome do esquema>:	<parte específica do esquema>
http:	//www.gta.ufrj.br/publicacoes
mailto:	miguel@gta.ufrj.br
ftp:	//ftp.gta.ufrj.br
dtn:	?

Vinculação Tardia (*Late Binding*)

- Significa interpretar a:
 - <parte específica do esquema>**para encaminhar uma mensagem em direção ao(s) destinatário(s)
 - Não ocorre necessariamente na fonte
 - **Diferente da vinculação do nome ao endereço IP na Internet convencional (vinculação antecipada -*early binding*)**

Transferência de Custódia (TC)

- Passa a responsabilidade da entrega de um nó para outro nó
- Utiliza temporizador e retransmissões para implementar um mecanismo de reconhecimento custódia-a-custódia



Transferência de Custódia (TC)

- Aceitação não é obrigatória
 - Não é considerado um mecanismo salto-a-salto legítimo
- Decisão de aceitação da TC é individual
 - Roteamento
 - Políticas de segurança
 - Tamanho, prioridade ou tempo máximo de vida da mensagem

Transferência de Custódia (TC)

- Se a TC é aceita
 - Mensagem (*bundle*) só pode ser apagado em duas situações:
 - Se a custódia for transferida para outro nó
 - Se o tempo de vida do agregado expirar
- Se a TC não é aceita
 - Temporizador e retransmissões não são empregados
 - Sucesso de entrega de mensagens depende somente dos protocolos subjacentes
 - Ex.: Nó aceita a custódia enquanto sua capacidade de bateria estiver acima de um determinado limiar

Transferência de Custódia (TC)

- Quais as implicações ao se aceitar custódia?
 - Além de consumo de bateria...
 - Ocupação de buffer
 - Gerenciamento de buffer pode usar estratégias clássicas de gerenciamento de cache (*Least Recently Used, Most Recently Used, etc.*)

Gerenciamento de energia e memória são problemas recorrentes em DTNs

Métricas de Roteamento

- São também função do tipo de contato
 - Se a rede estiver conectada...
 - Métricas das redes ad hoc podem ser usadas
 - Porém, como não há garantias de conectividade...
 - Métricas devem considerar se os contatos são determinísticos ou estocásticos

Métricas de Roteamento

- Cenários determinísticos
 - Permitem conhecer antecipadamente as mudanças da topologia ao longo do tempo
 - Cálculo de caminhos fim-a-fim é ainda possível se o tempo for considerado como uma dimensão a mais: **jornada**
- Jornada
 - Caminho composto por enlaces que não necessariamente existem ao mesmo tempo
 - **Vértices e enlaces aparecem e desaparecem**
 - Mesmo assim, é possível conhecer o caminho ao longo do tempo

Jornada

- Possui pré-requisitos para o aparecimento e desaparecimento de vértices e enlaces:
 - Sequência de vértices e enlaces deve ser progressivo no tempo
 - Ex.: não adianta um enlace com o destino surgir se o *bundle* ainda não tiver armazenado no nó que o encontrou
 - Cada enlace deve existir por tempo suficiente para a transferência completa do *bundle*

Jornada

- Métricas de roteamento podem otimizar a jornada a partir de três objetivos distintos:
 - Caminho mais curto
 - Menor número de saltos
 - Caminho mais rápido
 - Menor tempo em trânsito
 - Caminho mais antecipado
 - Caminho que chega mais cedo

Jornada

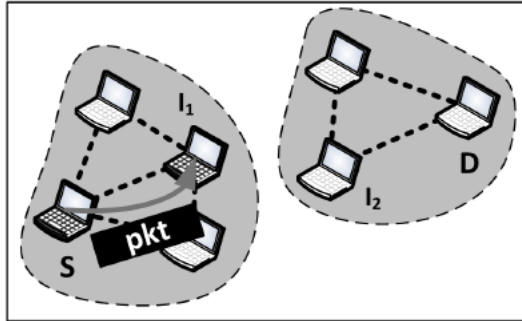
- Métricas de roteamento podem otimizar a jornada a partir de três objetivos distintos:

Caminho mais cedo não necessariamente é o mais rápido

- Caminho mais rápido
 - Menor tempo em trânsito
- Caminho mais antecipado
 - Caminho que chega mais cedo

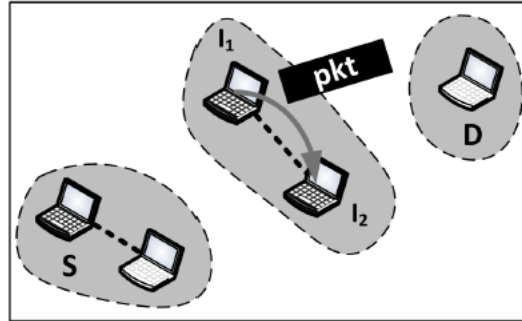
Jornada

Subgrafo i



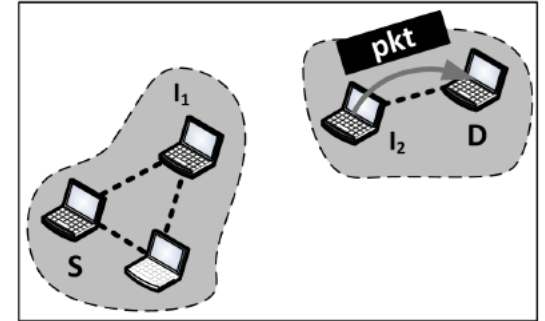
t_i

Subgrafo $i+1$



t_{i+1}

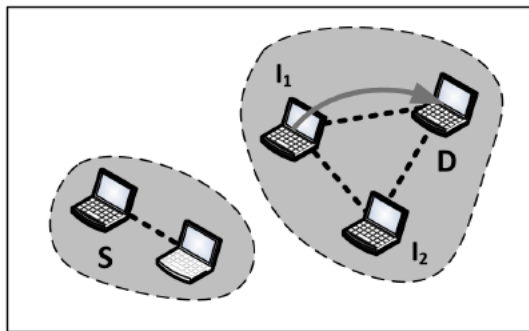
Subgrafo $i+2$



t_{i+2}

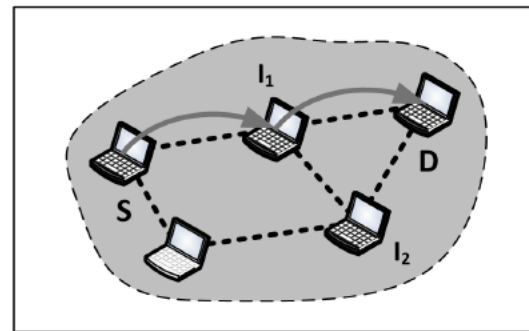
tempo

Subgrafo $i+3$



t_{i+3}

Subgrafo $i+4$

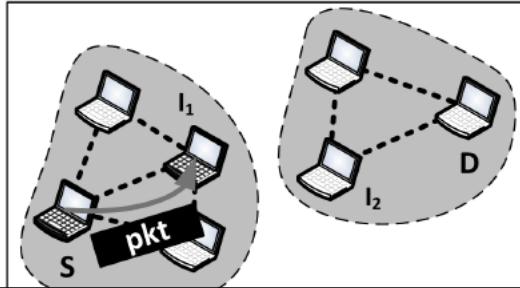


t_{i+4}

tempo

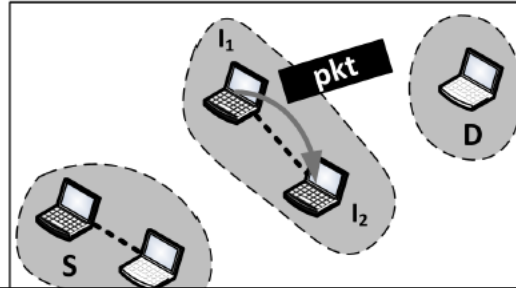
Jornada

Subgrafo i



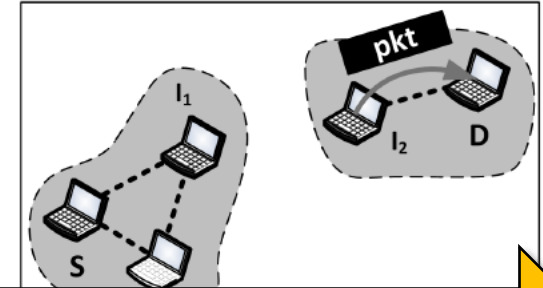
t_i

Subgrafo $i+1$



t_{i+1}

Subgrafo $i+2$

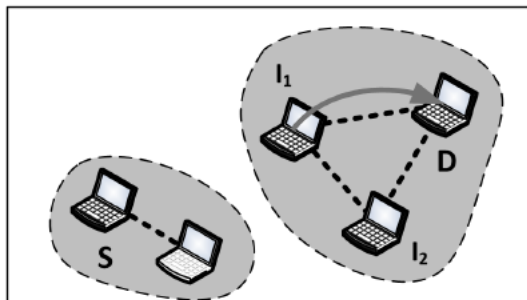


t_{i+2}

Caminho mais cedo: jornada $\langle S, I_1, I_2, D \rangle$

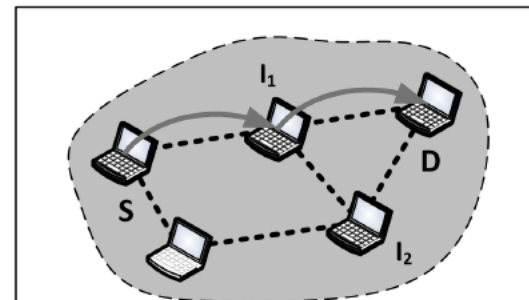
tempo

Subgrafo $i+3$



t_{i+3}

Subgrafo $i+4$



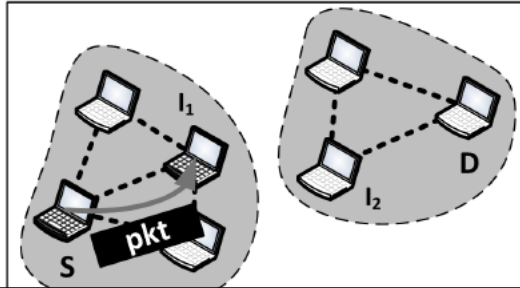
t_{i+4}

Caminho mais rápido: jornada $\langle S, I_1, D \rangle$

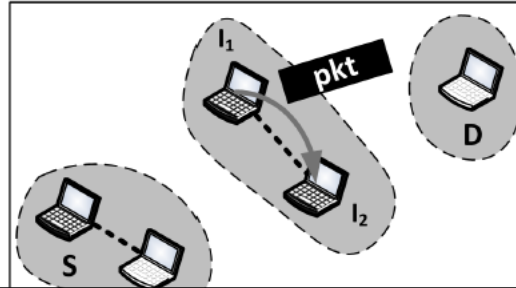
tempo

Jornada

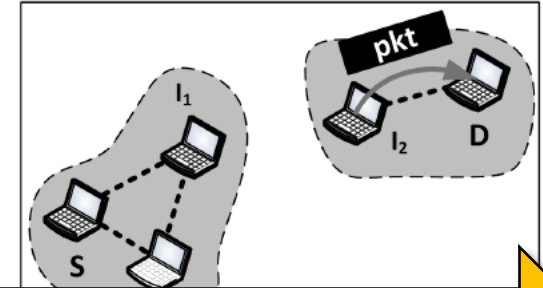
Subgrafo i



Subgrafo $i+1$



Subgrafo $i+2$



Caminho mais cedo: jornada $\langle S, I_1, I_2, D \rangle$

t_i

t_{i+1}

t_{i+2}

tempo

Caminho mais cedo não necessariamente é o mais rápido...



Caminho mais rápido: jornada $\langle S, I_1, D \rangle$

t_{i+3}

t_{i+4}

tempo

Outras Métricas

- Além de número de saltos e tempo...
 - Ocupação do buffer
 - Taxa de transmissão
 - Quantidade de interferência
 - Número de custódias carregadas
 - Tempo de vida do caminho
 - Combinações entre todas anteriores
 - Etc.

Oráculos

- Métricas determinísticas não são muito realistas porque o conhecimento é sempre parcial
 - Uso de oráculos de conhecimento pode ajudar no desempenho das métricas
 - Informações ausentes na rede estão presentes nos oráculos

Oráculos representam o melhor caso para teste de métricas ou protocolos de roteamento...

Oráculos

- Desempenho das métricas pode ser medido em função da quantidade de informação no oráculo
 - Quanto menos informação for necessária, melhor é o desempenho da métrica
- Informações nos oráculos podem ser diferentes
 - Oráculos de sumário de contato
 - Oráculos de contato
 - Oráculos de fila
 - Oráculos de demanda de tráfego
 - Etc.

Tipos de Oráculos

- Oráculos de sumário de contato
 - Guardam informações sobre contatos e tempo de espera para o próximo contato
- Oráculos de contato
 - Guardam informações mais detalhadas dos contatos como duração e tempo inicial
- Oráculos de fila
 - Guardam informações sobre ocupação do buffer
- Oráculos de demanda de tráfego
 - Guardam informações de demandas atuais e futuras de tráfego

Tipos de Oráculos

- Podem ser diversos
 - Contêm qualquer métrica de interesse que ajude no roteamento e na análise de desempenho
- Não podem ser usados na prática
 - Não se pode adivinhar o futuro com boa precisão

Como oráculos são abstrações, como as métricas estocásticas devem ser propostas e avaliadas?

Tipos de Oráculos

- Métricas estocásticas
 - Similares às propostas nos cenários determinísticos
 - Valores obtidos são decorrentes de experiências passadas (históricos)
 - Refletem estimativas e não valores exatos
 - Podem ser baseadas em históricos globais ou locais
 - Podem ser representadas como números calculados em janelas de tempo deslizantes que refletem:
 - Fração de *bundles* recebidos e entregues
 - Tempo para alcançar outros nós
 - Número de nós vistos
 - Ocupação do buffer etc.

Protocolos de Roteamento

- Também podem ser divididos em **determinísticos e estocásticos**
 - Diferença entre eles consiste na quantidade de informação sobre os contatos que cada um possui
- **Protocolos determinísticos**
 - Conhecem antecipadamente informações sobre contatos atuais e futuros

Protocolos Determinísticos

- Conhecem antecipadamente informações sobre contatos atuais e futuros
- Podem calcular um caminho fim-a-fim antes da transmissão do *bundle*, independente se há mudança na topologia da rede com o tempo
- São considerados pouco realistas (usam oráculos) ou restritos a casos específicos
 - Escassez de informações é o caso mais comum, tratado por protocolos com enfoque mais prático

Protocolos de Estocásticos

- Se baseiam em estimativas
 - Desempenho depende da quantidade e acurácia das informações disponíveis
 - Quanto mais informações tiver, melhor é a decisão sobre o próximo salto
 - Melhor desempenho em termos de atraso a taxa de entrega
- Subdividem-se em subclasses:
 - Oportunísticos, baseados em históricos, em modelo de interações sociais

Protocolos de Estocásticos

- Oportunísticos
 - Não têm nenhuma informação adicional
- Baseados em histórico
 - Podem contar com informações passadas
- Baseados em modelo
 - Podem contar com padrão conhecido de mobilidade
- Baseados em interações sociais
 - Usam informações sobre o comportamento humano

Protocolos Oportunísticos

- Não têm nenhuma informação adicional sobre contatos
 - Protocolos usam inundação como única alternativa para alcançar nós de destino com taxa de entrega aceitável
- Protocolos oportunistas mais recentes, porém...
 - Usam heurísticas com parâmetros configurados a priori para reduzir a sobrecarga sem afetar a taxa de entrega

Protocolos Oportunísticos

- Protocolo de roteamento **epidêmico**
 - Usa o mesmo princípio da inundação
 - Sempre que um nó encontra outro, ele replica os *bundles* já recebidos
 - Termina quando após todos receberem o bundle ou até um limite superior de replicação for atingido
 - Destino não replica bundle
 - Antes de replicar, porém...
 - Nó pergunta ao outro quais os *bundles* ele já tem para não enviar duplicatas

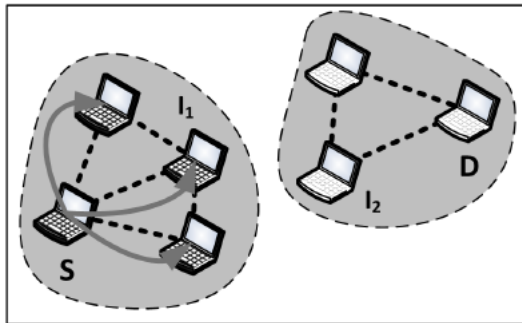
Protocolos Oportunísticos

- Protocolo de roteamento **epidêmico**
 - Vantagem
 - **Simple e eficiente em termos de taxa de entrega**
 - Em compensação...
 - **Possui alta sobrecarga em termos de ocupação do buffer**
 - **Impacto depende do tamanho do buffer e da forma com que o buffer é gerenciado**

Protocolos Oportunísticos

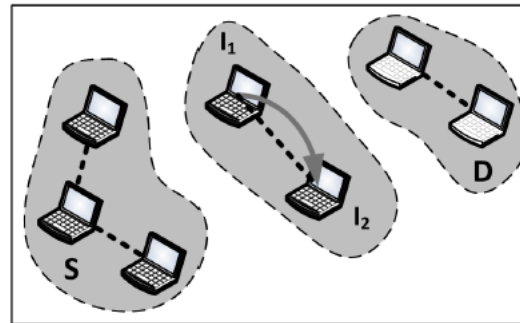
- Protocolo de roteamento **epidêmico**
 - Nó S quer enviar *bundle* para D...
 - Para isso, *bundle* é replicado para todos os nós da rede até que chegue ao destino

Subgrafo i



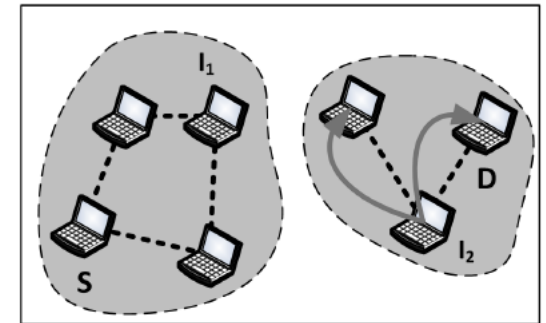
t_i

Subgrafo i+1



t_{i+1}

Subgrafo i+2



t_{i+2}

tempo

jornada $\langle S, I_1, I_2, D \rangle$

Protocolos Oportunísticos

- Protocolo de roteamento **única cópia**
 - Mantém uma única cópia de cada bundle, nunca o replicando
 - Oposto ao Epidêmico
 - Abordagem mais trivial
 - Nó fonte nunca replica nem encaminha o bundle, guardando-o apenas para entrega ao destino final, caso seja encontrado

Protocolos Oportunísticos

- Protocolo de roteamento *única cópia*
 - Vantagem
 - *Baixa ocupação do buffer*
 - Desvantagem
 - *Taxa de entrega é baixa pois não há garantias de contato com o destino*
- Variações do protocolo
 - Nós mantêm temporizador para registrar últimos encontros
 - *Nó que encontrou o destino mais recentemente recebe o bundle*
 - *Não é replicação nesse caso, é transferência*

Protocolos Oportunísticos

- Protocolo de roteamento **spray and wait**
 - Controla o número de réplicas dividindo as atividades do roteamento em duas fases
 - Primeira fase: "**Spray**"
 - Mensagens são replicadas levando em conta um número máximo de cópias para evitar sobrecarga
 - Replicação pára quando o nó possuir apenas uma única cópia do *bundle*
 - Segunda fase: "**Wait**"
 - Depois da fase de "spray", os nós somente replicam se for para o próprio destino
 - Alternativa intermediária entre o epidêmico ("spray") e o única cópia ("wait")

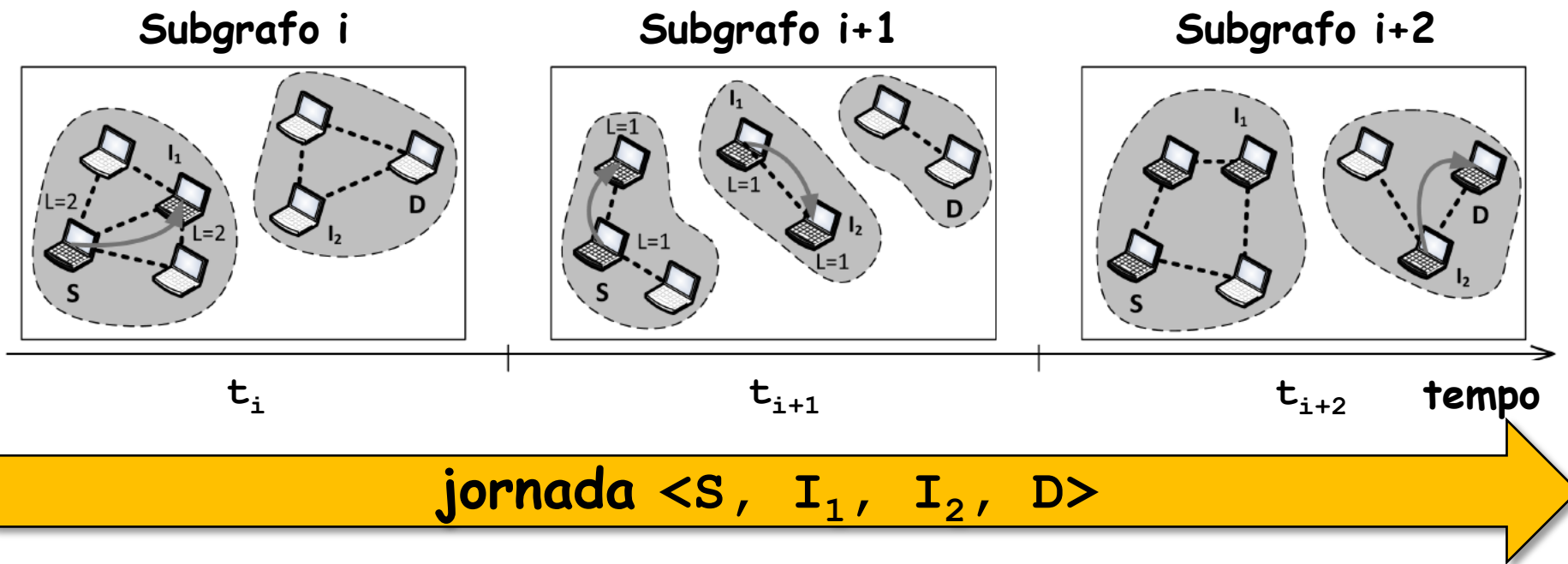
Protocolos Oportunísticos

- Protocolo de roteamento **spray and wait**
 - Heurísticas para a fase de "spray":
 - Considerando L como sendo o número máximo de réplicas, o nó fonte pode...
 - Replicar o bundle para os L primeiros nós encontrados
 - Replicar L bundles para o primeiro, que por sua vez replicam $L/2$ cópias para os seguintes e assim por diante
 - Etc.

Replicação feita pelo nó fonte privilegia nós próximos, enquanto que a replicação pelos nós encontrados privilegia nós mais distantes

Protocolos Oportunísticos

- Protocolo de roteamento **spray and wait**



Protocolos Baseados em Históricos

- Assumem a existência de informação prévia
 - Informação pode ser usada para seleção de próximo salto
 - Informação é baseada em estatísticas coletadas por cada nó dentro de um dado intervalo de tempo
 - Informação é considerada local a cada um dos nós

Protocolos Baseados em Históricos

- Protocolo de roteamento *Probabilistic ROuting Protocol using History of Encounters and Transitivity (PRoPHET)*
 - Usa contador de encontros entre pares de nós em um determinado intervalo de tempo
 - Antes de encaminhar o bundle, o nó saberá quem tem maiores chances de entrega
 - Contador mantido por cada nó para cada destino da rede
 - Contador é incrementado a cada encontro
 - Contador é decrementado com o tempo para encontros que não acontecem mais

Protocolos Baseados em Históricos

- Protocolo de roteamento *Probabilistic ROuting Protocol using History of Encounters and Transitivity (PRoPHET)*
 - Escolha do próximo salto considera a probabilidade de entrega de um bundle de S até D passando por I
 - Probabilidade é calculada em função dos contadores mantidos e trocados entre vizinhos
 - Probabilidade se refere ao intervalo de tempo t

$$P(S, D)_t = \boxed{P(S, D)_{t-1}} + (1 - P(S, D)_{t-1}) \times \boxed{P(S, I) \times P(I, D)} \times \beta,$$

Probabilidade de S entregar bundle para D no intervalo t-1

Probabilidade de S entregar bundle para I e I para D

Protocolos Baseados em Históricos

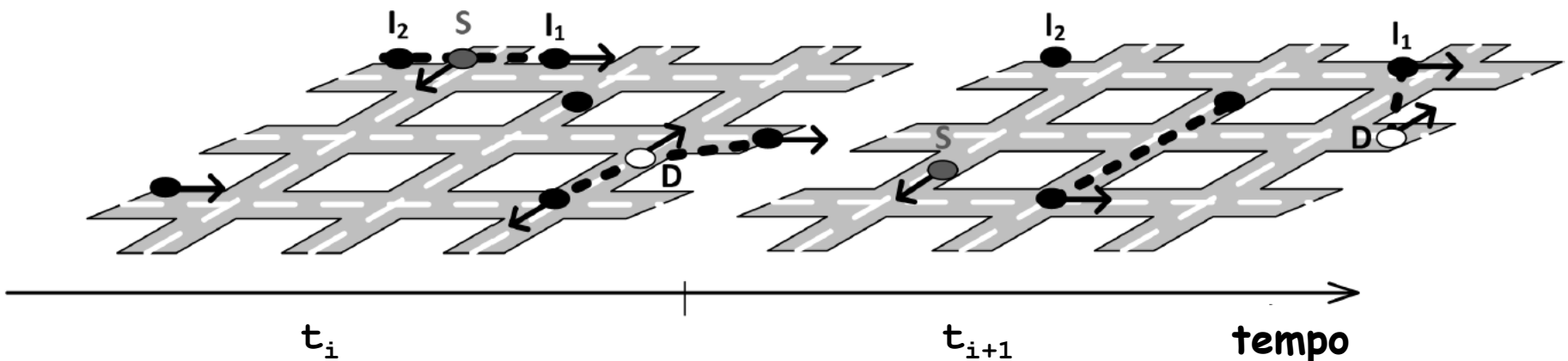
- Protocolo de roteamento *Probabilistic ROuting Protocol using History of Encounters and Transitivity (PRoPHET)*
 - Encaminhamento para nó intermediário depende da probabilidade de entrega calculada
 - Encaminhar sempre que a probabilidade estiver acima de um limiar...
 - Ou
 - Encaminhar sempre que a probabilidade pelo nó I intermediário for maior que o próprio

Protocolos Baseados em Modelos

- Nós se movem seguindo algum padrão de mobilidade (modelo de mobilidade)
 - Nós andam por ruas ou seguem por estradas
 - Padrões podem auxiliar na previsão futura de posicionamento

Protocolos Baseados em Modelos

- Movimento do nó S e contatos são limitados fisicamente pelas ruas
 - No momento t_i , o nó S possui duas alternativas para nó intermediário: I_1 e I_2
 - O nó S seleciona I_1 baseado no padrão de mobilidade deste nó que entra em contato com D em t_{i+1}



Protocolos Baseados em Modelos

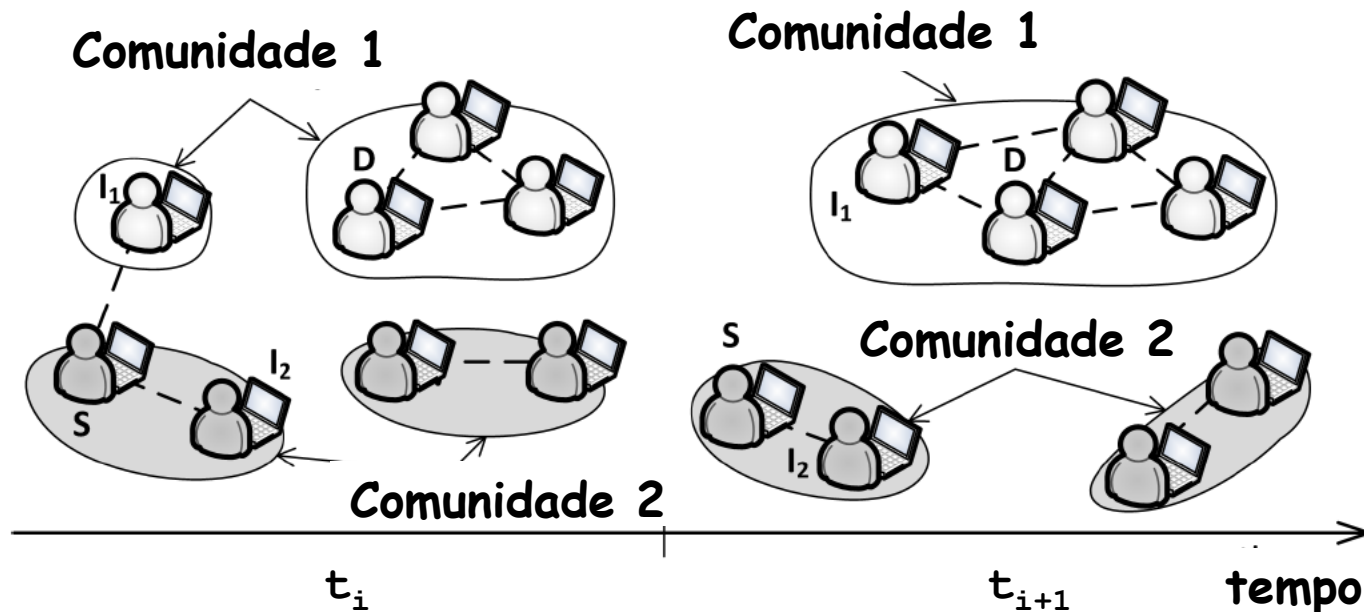
- Protocolo de roteamento *Model Based Routing (MBR)*
 - Considera que os nós se movem conforme modelo realista e não aleatoriamente
 - Esse conhecimento é usado para escolha do próximo salto e estimativa da posição dos nós
 - Nós que vão mais perto da posição do destino são usados
 - Estimativa da posição dos nós
 - Auxiliada pela noção da localização, obtida com mapas digitais, e pelo padrão de movimentação
 - Movimentação segue itinerários conhecidos
 - Linhas de ônibus ou comportamento humano

Protocolos Baseados em Interação Humana

- Usam o conhecimento do comportamento humano para melhorar o desempenho da rede
 - Protocolos baseados em modelos empregam modelos para prever contatos em pontos futuros
 - Protocolos baseados em interação humana, porém, empregam modelos para estimar contatos entre nós e as relações sociais
- Assumem a formação de comunidades com afinidades sociais
 - Coloca em contato pessoas com gostos semelhantes: comunidade

Protocolos Baseados em Interação Humana

- Comunicação entre o nó S e o nó D
 - No momento t_i , o nó S possui duas alternativas para nó intermediário: I_1 e I_2
 - O nó S seleciona I_1 , já que este pertence à mesma comunidade do nó D



Protocolos Baseados em Interação Humana

- Protocolo de roteamento **Bubble Rap**
 - Usa centralidade e comunidades de usuários
 - Em comunidades, alguns usuários são mais populares que outros
 - Um nó popular é um nó mais central
 - Nós mais centrais são pontes entre comunidades
 - Encaminhamento requer presença de rótulos
 - Rótulos contêm informação da afiliação de cada nó
 - Rótulos são trocados entre nós e usados para seleção do próximo salto
 - Nós intermediários que possuem o mesmo rótulo do destino são selecionados

Protocolos Baseados em Interação Humana

- Protocolo de roteamento **Bubble Rap**
 - Encaminhamento usa ranqueamento local e global
 - Se o nó quiser enviar um bundle para um nó em outra comunidade...
 - Primeiro encaminha o bundle para um nós com melhor posição no ranqueamento global que a sua própria
 - Ao chegar na comunidade de destino, o bundle passa a levar em conta o ranqueamento local
 - Se o nó quiser enviar um bundle para um nó na mesma comunidade...
 - leva em conta o ranqueamento local

Referências

- Capítulo 8 do livro
 - Miguel Elias M. Campista e Marcelo G. Rubinstein, *"Advanced Routing Protocols for Wireless Networks"*, 1ª Edição, Wiley-Inte
- Oliveira, C. T., Moreira, M. D. D., Rubinstein, M. G., Costa, L. H. M. K., and Duarte, O. C. M. B. - "Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões", in Minicursos do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores - SBRC'2007, Belém, PA, Brasil