



Universidade de Brasília

Departamento de Engenharia Elétrica

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de
Sistemas Eletrônicos e de Automação

PROTOCOLO MAC EFICIENTE EM ENERGIA E LIVRE DE COLISÕES PARA REDES DE SENSORES SEM FIO

Trabalho de mestrado

Vinícius Galvão Guimarães

Agosto de 2014



Sumário da apresentação

- Introdução
- Objetivos
- Aspectos relevantes, trabalhos relacionados e motivação
- DyTEE
- Metodologia
 - Simulação
 - Escolha da plataforma
 - Obtenção de resultados
- Resultados
 - Simulações, topologia, parâmetros
 - Parâmetros do artigo S-MAC (MICA, topologia linear)
 - Parâmetros Atualizados (Zigbit, topologia estrela)
 - Experimento em módulos reais, topologia e parâmetros:
 - Por contagem de bytes
 - Por medição em multímetro
 - Tempo de vida do módulo
- Conclusão
- Trabalhos futuros

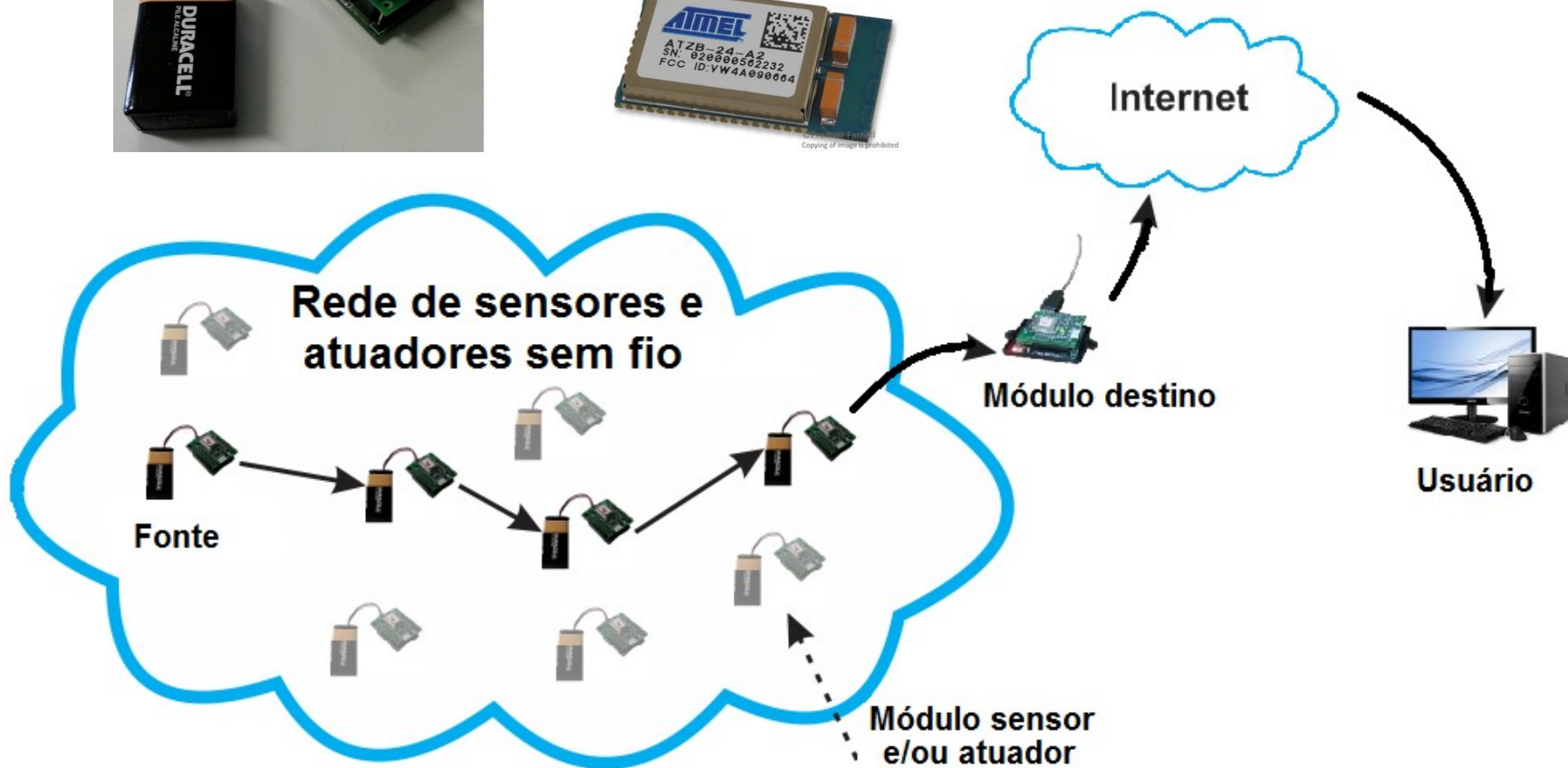
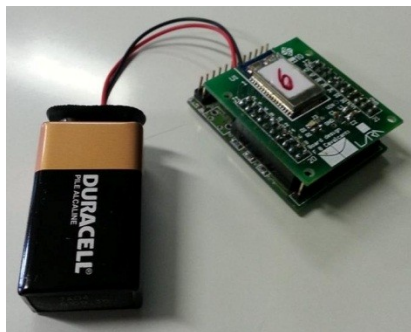


Sumário da apresentação

- Introdução
- Objetivos
- Aspectos relevantes, trabalhos relacionados e motivação
- DyTEE
- Metodologia
 - Simulação
 - Escolha da plataforma
 - Obtenção de resultados
- Resultados
 - Simulações, topologia, parâmetros
 - Parâmetros do artigo S-MAC (MICA, topologia linear)
 - Parâmetros Atualizados (Zigbit, topologia estrela)
 - Experimento em módulos reais, topologia e parâmetros:
 - Por contagem de bytes
 - Por medição em multímetro
 - Tempo de vida do módulo
- Conclusão
- Trabalhos futuros



Introdução – Rede de Sensor Sem Fio

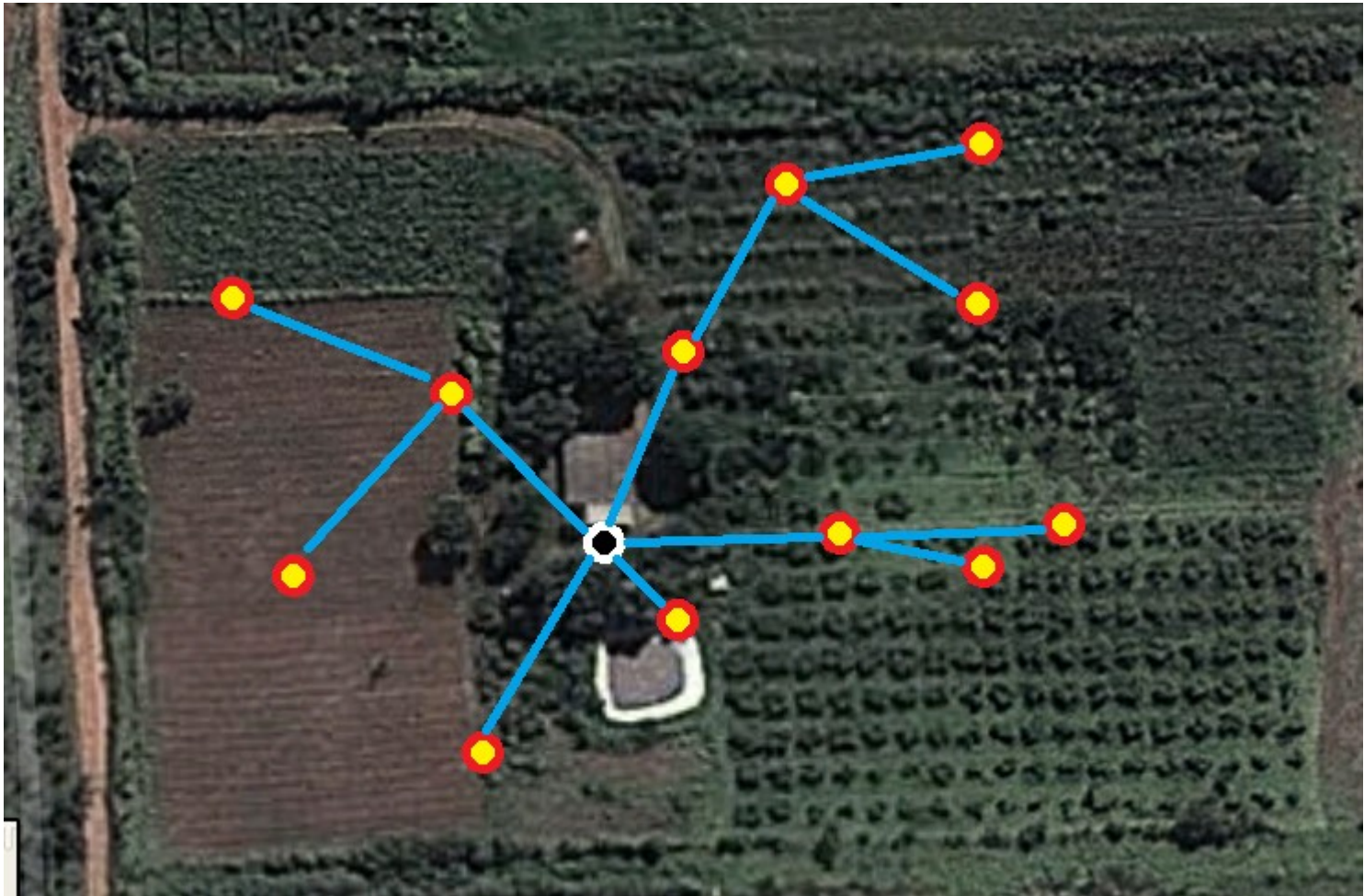


O diagrama apresenta o layout de uma sala de aula com as seguintes características:

- Dimensões Totais:** 18 m (largura) por 11 m (profundidade).
- Salas e Áreas:** Sala Reunões, PCs lab/mov, Controle de Processos, Inspeção L., Servidor1, Servidor2, Robótica Aérea, Ferramentas, Manipuladores, Robótica Móvel, Humanoide Escl, Robótica Móvel, Sala Pós-Graduação, Sala Visitantes, Internet, Escal.
- Áreas Específicas:** 66 m², 132 m², 2 m², 4,0m, 4,0m e 4,0m.
- Robôs e Dispositivos:** Robô móvel, Robô aéreo, Robô humanoide escl, Robô manipulador, Robô inspeção l., Robô servidor1, Robô servidor2.



Introdução – Automação na agricultura





Sumário da apresentação

- Introdução
- **Objetivos**
- Aspectos relevantes, trabalhos relacionados e motivação
- DyTEE
- Metodologia
 - Simulação
 - Escolha da plataforma
 - Obtenção de resultados
- Resultados
 - Simulações, topologia, parâmetros
 - Parâmetros do artigo S-MAC (MICA, topologia linear)
 - Parâmetros Atualizados (Zigbit, topologia estrela)
 - Experimento em módulos reais, topologia e parâmetros:
 - Por contagem de bytes
 - Por medição em multímetro
 - Tempo de vida do módulo
- Conclusão
- Trabalhos futuros



Objetivos

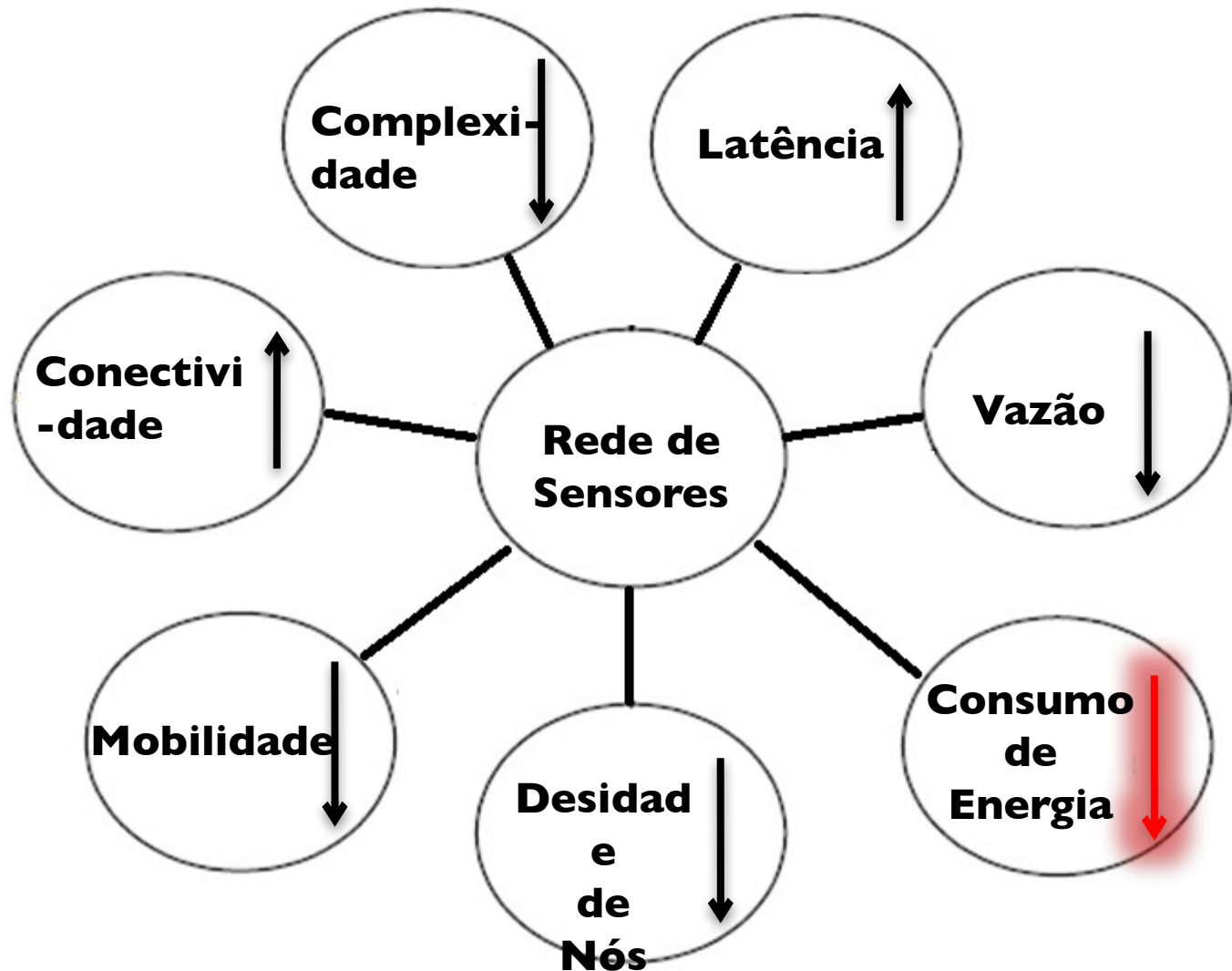




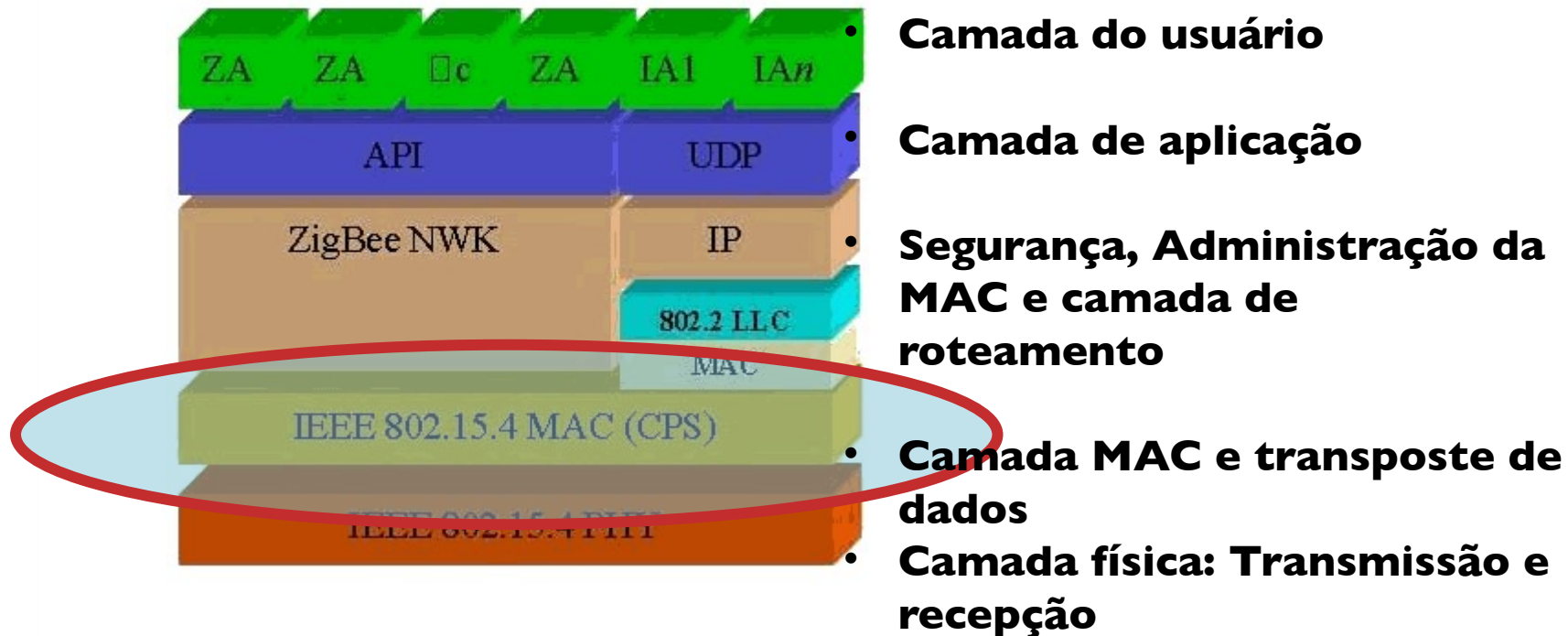
Sumário da apresentação

- Introdução
- Objetivos
- Aspectos relevantes, trabalhos relacionados e motivação
- DyTEE
- Metodologia
 - Simulação
 - Escolha da plataforma
 - Obtenção de resultados
- Resultados
 - Simulações, topologia, parâmetros
 - Parâmetros do artigo S-MAC (MICA, topologia linear)
 - Parâmetros Atualizados (Zigbit, topologia estrela)
 - Experimento em módulos reais, topologia e parâmetros:
 - Por contagem de bytes
 - Por medição em multímetro
 - Tempo de vida do módulo
- Conclusão
- Trabalhos futuros

Aspectos relevantes



Estrutura em camadas



Trabalhos relacionados

Protocolo	Vantagens	Desvantagens
S-MAC	Simple; <i>Duty cycle</i>	Colisões
S-MAC-AL	Simple; <i>Duty cycle</i> ; Menos latência	Colisões; Maior atividade
TDMA	Simple; Vazão; Econômico em energia	Uso do canal; Número fixo de nós
CSMA/CA	RTS/CTS; Menos colisões (CCA)	Colisões
IEEE 802.15.4	<i>Superframes</i> ; GTS; Configurável; <i>Duty cycle</i>	Passível de colisões; Cabeçalho
TRAMA	<i>Duty cycle</i> ; Sem colisões de dados; Adaptativo	Maior latência; Complexo; Mais memória
T-MAC	<i>Duty cycle</i> ; Menor tempo ativo; Adaptativo	Colisões
WiseMAC	Preâmbulos;	Escuta ociosa; Colisões
B-MAC	Preâmbulos; LPL	Escuta ociosa; Colisões
X-MAC	Preâmbulos; LPL; Redução de escuta ociosa	Colisões
AEDP	Melhor detecção de preâmbulo	Colisões
DMAC	Múltiplas camadas; Vazão; Roteamento	Roteamento fixo estilo árvore;
TDMA-W	Sem colisões; Vazão; Dinâmico	Considera outras tecnologias (GPS)
ID-MAC	Slots pelo ID; Sem colisões; Poucos cabeçalhos	Complexo; Reconhecimento de vizinhos
AS-MAC	Agrupamento de pacotes; Identificação do canal	Complexo; Alternância de modulação



Necessitam sincronismo

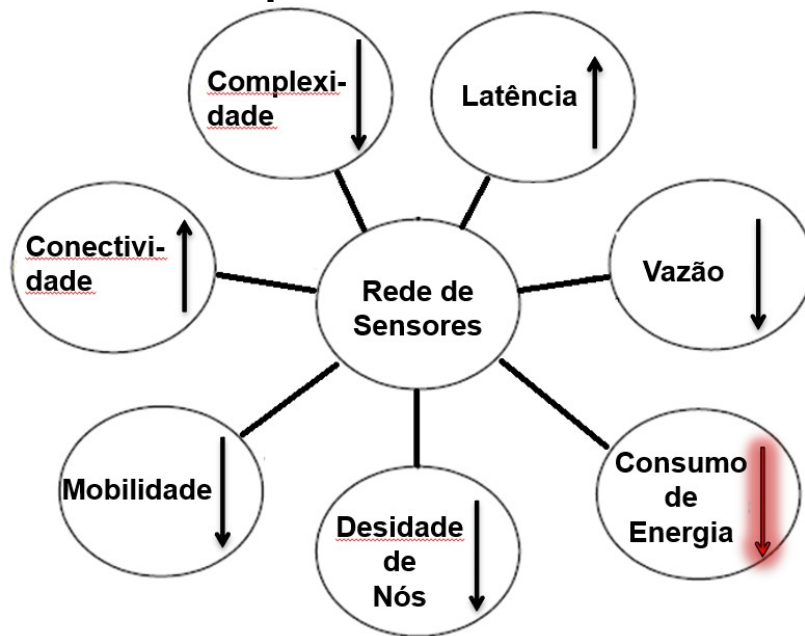


Não necessitam sincronismo



Motivação

- Explorar características de aplicações com:
 - Baixa ou nenhuma mobilidade
 - Necessitam pequena complexidade
 - Permitem maior latência
 - Trabalham com poucos módulos





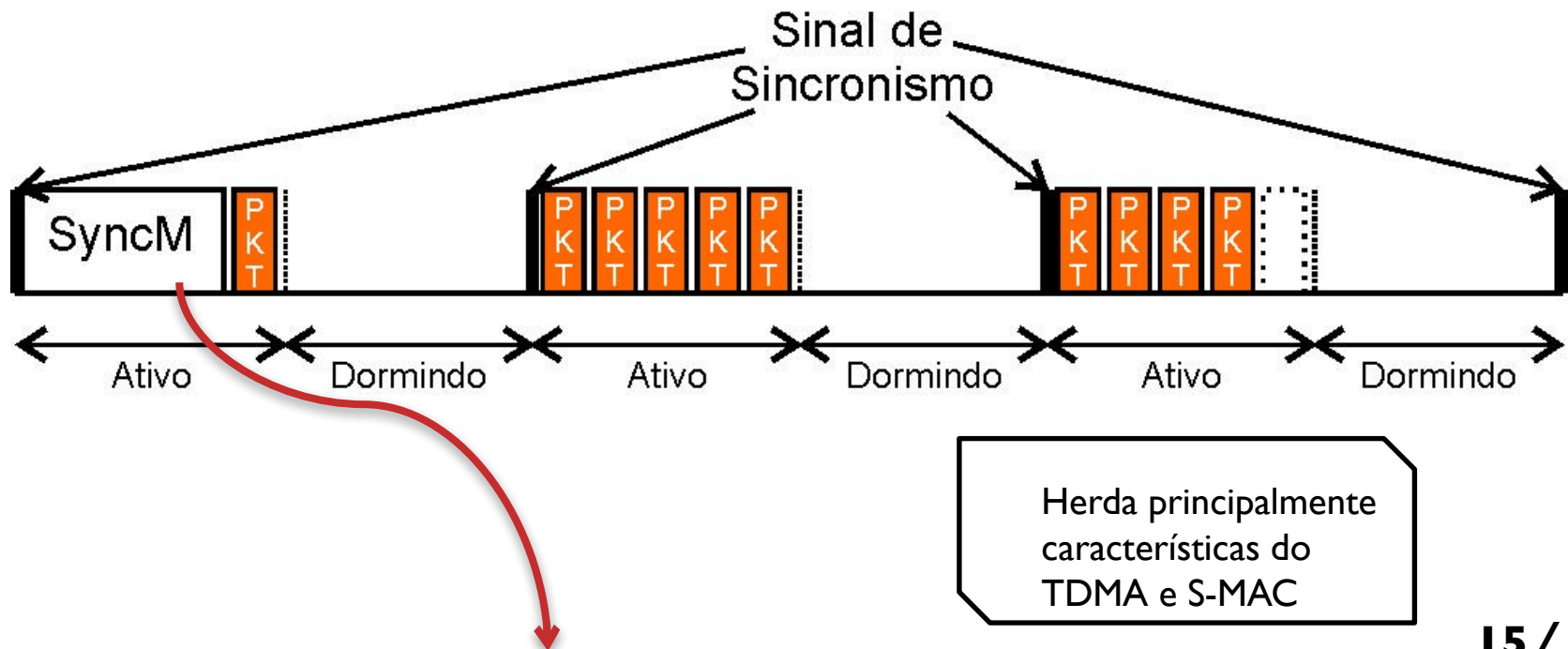
Sumário da apresentação

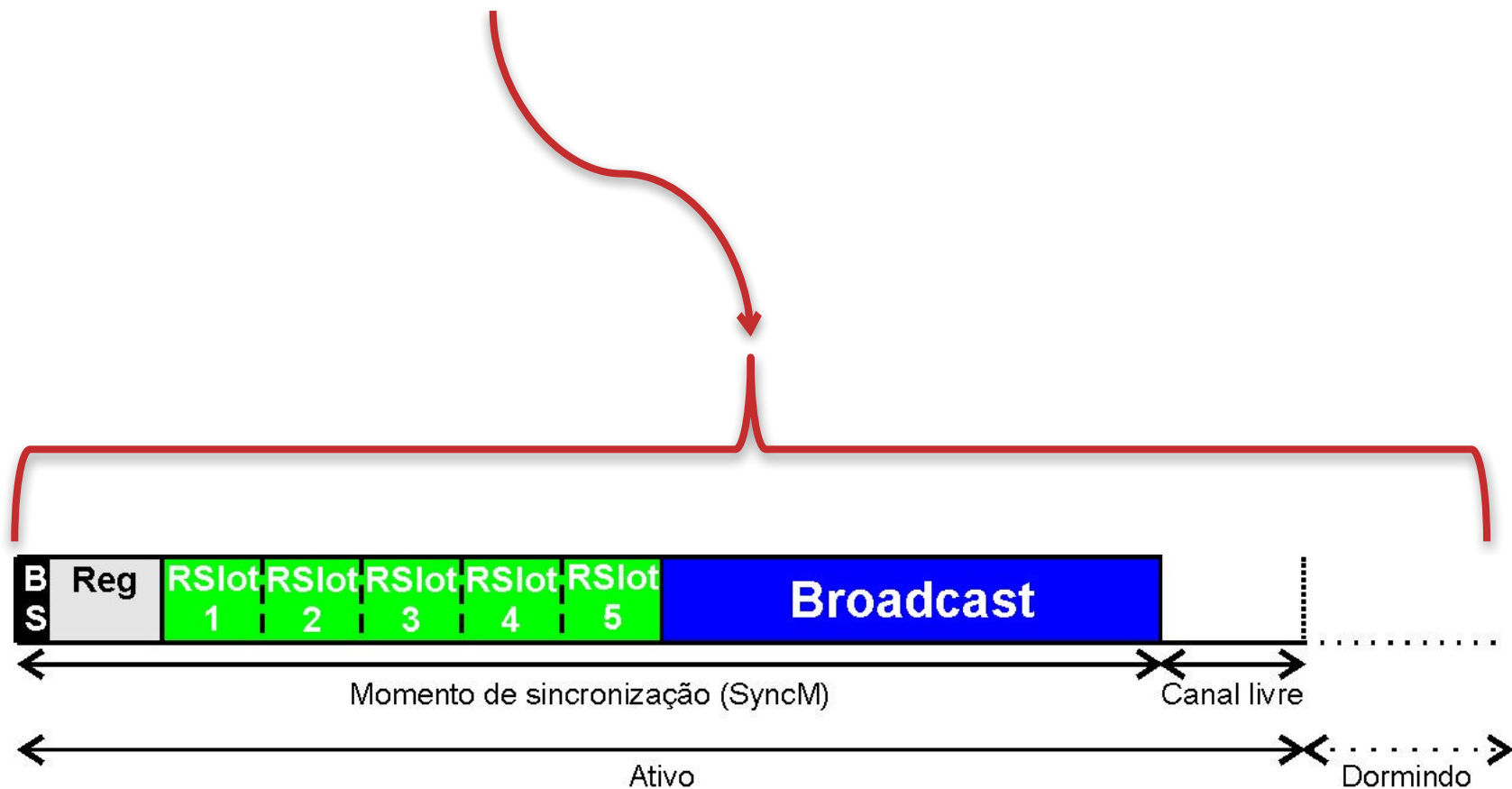
- Introdução
- Objetivos
- Aspectos relevantes, trabalhos relacionados e motivação
- **DyTEE**
- Metodologia
 - Simulação
 - Escolha da plataforma
 - Obtenção de resultados
- Resultados
 - Simulações, topologia, parâmetros
 - Parâmetros do artigo S-MAC (MICA, topologia linear)
 - Parâmetros Atualizados (Zigbit, topologia estrela)
 - Experimento em módulos reais, topologia e parâmetros:
 - Por contagem de bytes
 - Por medição em multímetro
 - Tempo de vida do módulo
- Conclusão
- Trabalhos futuros

Dynamic Timed Energy Efficient (DyTEE)

Sensoriamento
da portadora

Único canal



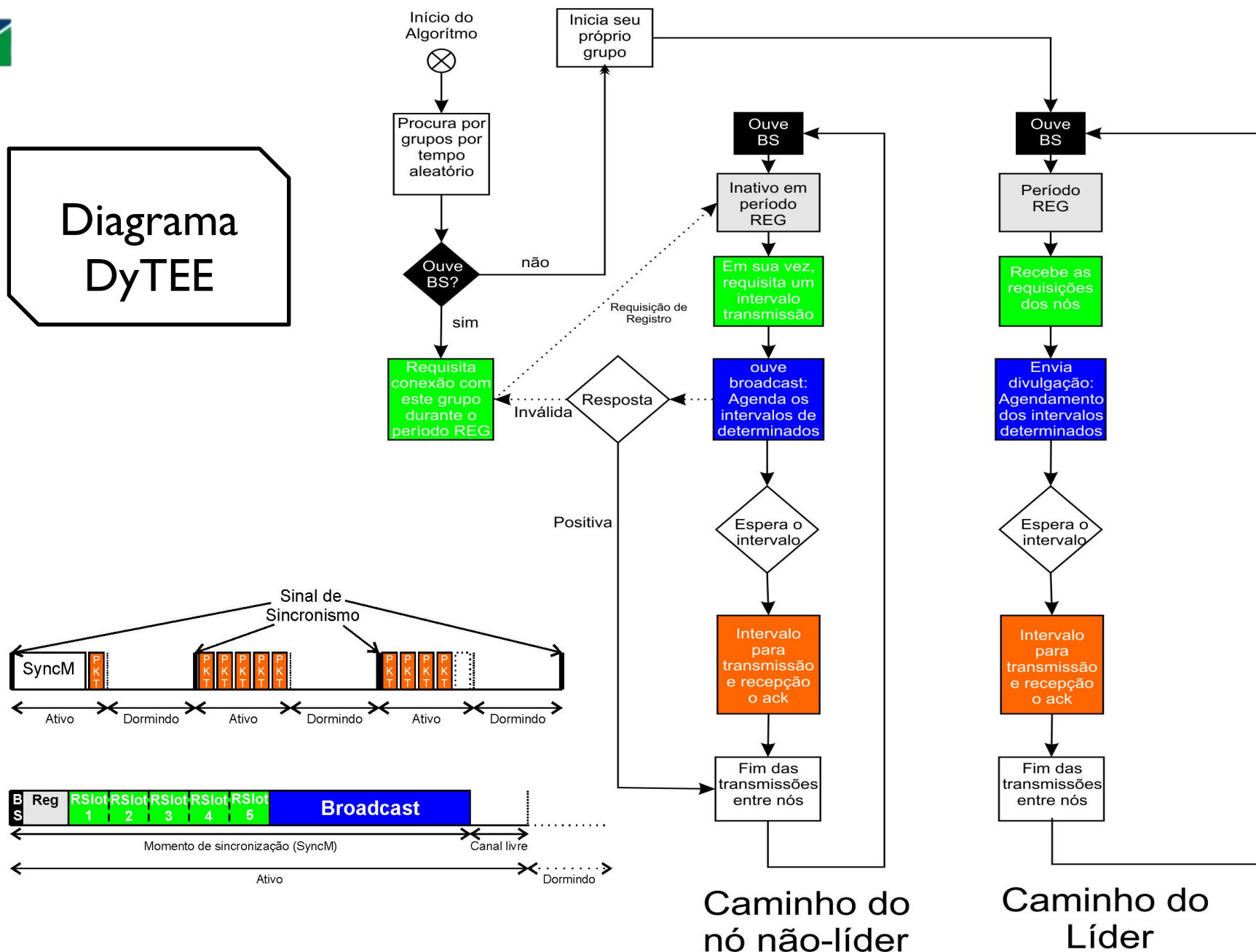


Momento de
sincronização(SyncM)

Busca melhor
aproveitamento do canal



Diagrama DyTEE





Parâmetros configuráveis do DyTEE

- Número máximo de nós em cada grupo
- Tamanho máximo de uma mensagem enviada no beacon
- Ciclo de trabalho máximo
- Quantidade de slots para registro
- Cargá útil máxima por mensagem
- Máximo número de períodos de recuo (backoff)
- Máximo de requisições de transmissões por períodos
- Máximo número de tentativas de registro
- Máximo de mensagens armazenadas
- Máximo número de tentativas de transmissão de mensagens

Totalizando 10 Parâmetros de rede



Parâmetros dependentes do DyTEE

- Limite do valor máximo de nós
- Duração máxima de uma transmissão de dados
- Duração máxima de um sinal de sincronização (BS)
- Máximo de transmissões por período

Totalizando 4 Parâmetros dependentes



Sumário da apresentação

- Introdução
- Objetivos
- Aspectos relevantes, trabalhos relacionados e motivação
- DyTEE
- Metodologia
 - Simulação
 - Escolha da plataforma
 - Obtenção de resultados
- Resultados
 - Simulações, topologia, parâmetros
 - Parâmetros do artigo S-MAC (MICA, topologia linear)
 - Parâmetros Atualizados (Zigbit, topologia estrela)
 - Experimento em módulos reais, topologia e parâmetros:
 - Por contagem de bytes
 - Por medição em multímetro
 - Tempo de vida do módulo
- Conclusão
- Trabalhos futuros

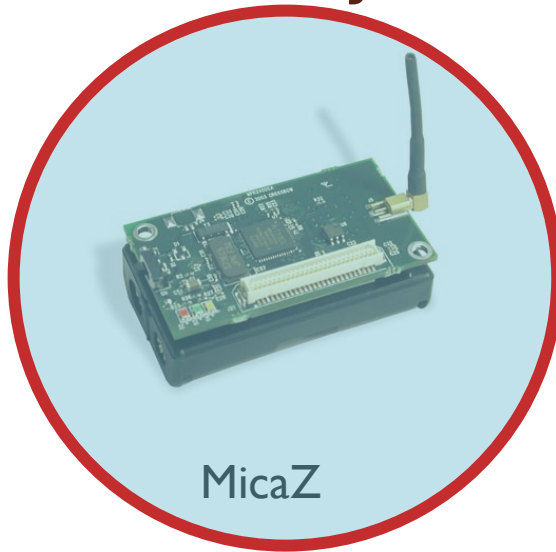




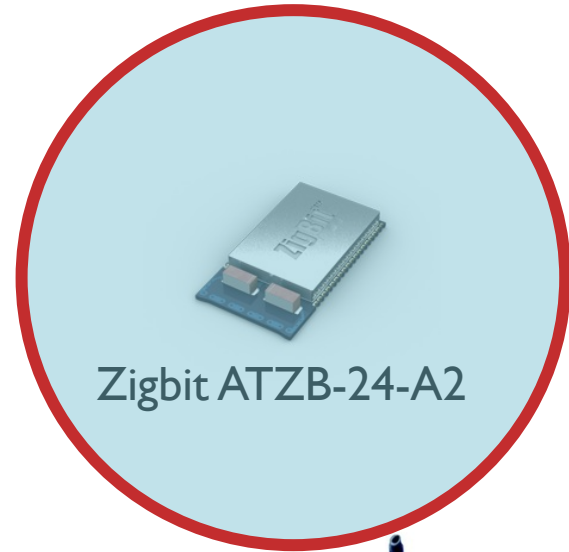
Sumário da apresentação

- Introdução
- Objetivos
- Aspectos relevantes, trabalhos relacionados e motivação
- DyTEE
- Metodologia
 - Simulação
 - Escolha da plataforma
 - Obtenção de resultados
- Resultados
 - Simulações, topologia, parâmetros
 - Parâmetros do artigo S-MAC (MICA, topologia linear)
 - Parâmetros Atualizados (Zigbit, topologia estrela)
 - Experimento em módulos reais, topologia e parâmetros:
 - Por contagem de bytes
 - Por medição em multímetro
 - Tempo de vida do módulo
- Conclusão
- Trabalhos futuros

Metodologia – Plataforma de implementação



MicaZ



Zigbit ATZB-24-A2

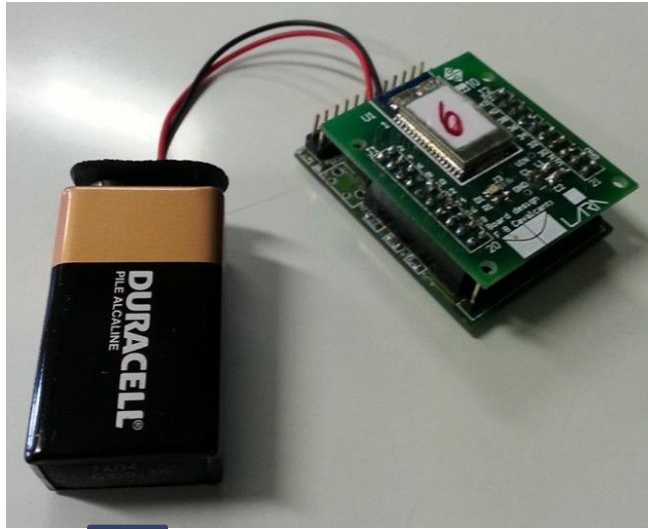


TelosB



IRIS

Metodologia – Plataforma de implementação

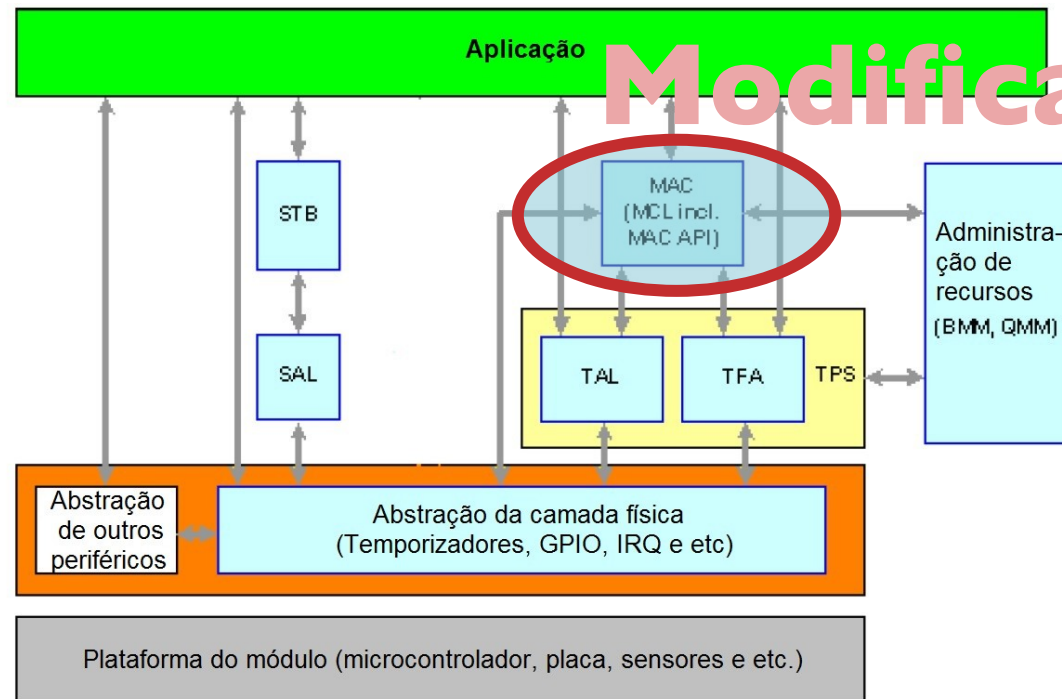


Ou diretamente com 2 pilhas AA $\approx 3.1V$



Metodologia – Plataforma de implementação

- Plataforma aberta “IEEE 802.15.4 MAC” disponibilizado pela Atmel.





Sumário da apresentação


- Introdução
- Objetivos
- Aspectos relevantes, trabalhos relacionados e motivação
- DyTEE
- Metodologia
 - Simulação
 - Escolha da plataforma
 - Obtenção de resultados
- Resultados
 - Simulações, topologia, parâmetros
 - Parâmetros do artigo S-MAC (MICA, topologia linear)
 - Parâmetros Atualizados (Zigbit, topologia estrela)
 - Experimento em módulos reais, topologia e parâmetros:
 - Por contagem de bytes
 - Por medição em multímetro
 - Tempo de vida do módulo
- Conclusão
- Trabalhos futuros



Metodologia – Obtenção de resultados em módulos reais


1. Contagem de bytes transmitidos e recebidos
2. Medição em Multímetro digital*

*Novo método, não incluso ainda na dissertação



Metodologia – Obtenção de resultados: Contagem de bytes transmitidos e recebidos

- Cada módulo envia, como carga útil:
 - Somatório dos tempos ativos deste nó
 - Totais de bytes enviados por este nó
 - Totais de bytes recebidos por este nó
 - Totais de bytes enviados de carga útil por este nó
 - Totais de bytes recebidos de carga útil por este nó




Metodologia – Obtenção de resultados: Contagem de bytes transmitidos e recebidos

- Pelo valor de bytes contados e recebidos pelo coordenador, pode-se calcular:

$$Vazão_{Rede} = \frac{\sum Bytes_{\acute{U}teis\ recebidos}}{Tempo_{Procedimento}}. \quad (4.1)$$

$$Pacotes_{Perdidos} = \frac{(\sum Bytes_{\acute{U}teis\ enviados} - \sum Bytes_{\acute{U}teis\ recebidos})}{S_{Carga\ útil}}, \quad (4.2)$$

$$Overhead = \frac{(\sum Bytes_{Totais\ enviados} - \sum Bytes_{\acute{U}teis\ recebidos} - Pacotes_{Perdidos} \cdot S_{Pacote})}{\sum Bytes_{Totais\ enviados}}, \quad (4.3)$$



Metodologia – Obtenção de resultados: Contagem de bytes transmitidos e recebidos


- Pela duração das operações (32μs por byte), estima-se os tempos de cada estado.

$$Tempo_{Total\ Tx\ grupo} = 32\mu s * \sum Bytes_{Totais\ enviados} \quad (4.4)$$

$$Tempo_{Total\ Rx\ grupo} = 32\mu s * \sum Bytes_{Totais\ recebido}, \quad (4.5)$$

$$Tempo_{Total\ ocioso\ grupo} = \sum Tempo_{Total\ ativo} - Tempo_{Total\ Tx\ grupo} - Tempo_{Total\ Rx\ grupo} \quad (4.6)$$

$$Tempo_{Total\ Sleep\ grupo} = Nós_{Utilizados} \cdot Tempo_{Procedimento} - \sum Tempo_{Total\ ativo}, \quad (4.7)$$



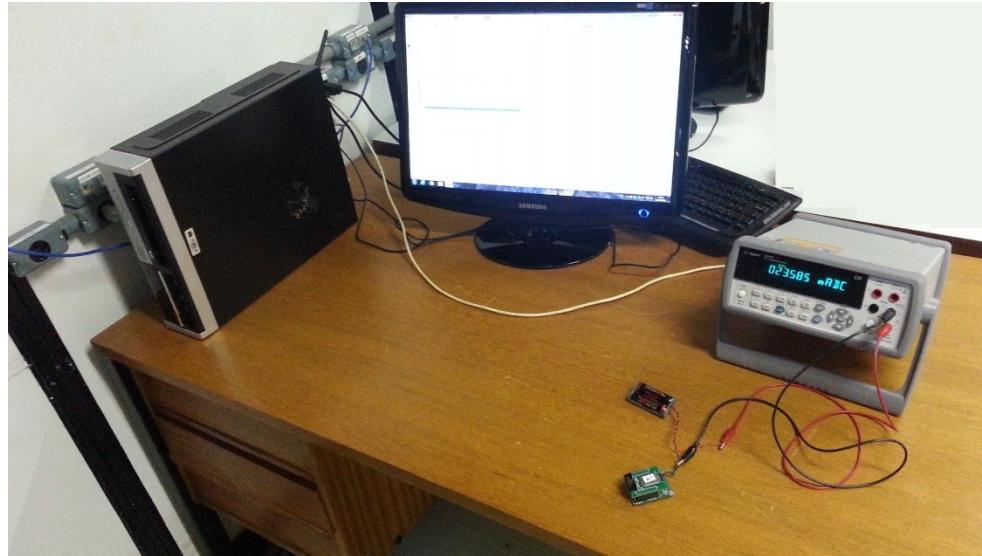
Metodologia – Obtenção de resultados: Contagem de bytes transmitidos e recebidos

- Pela duração das operações (32μs por byte), estima-se o consumo total.

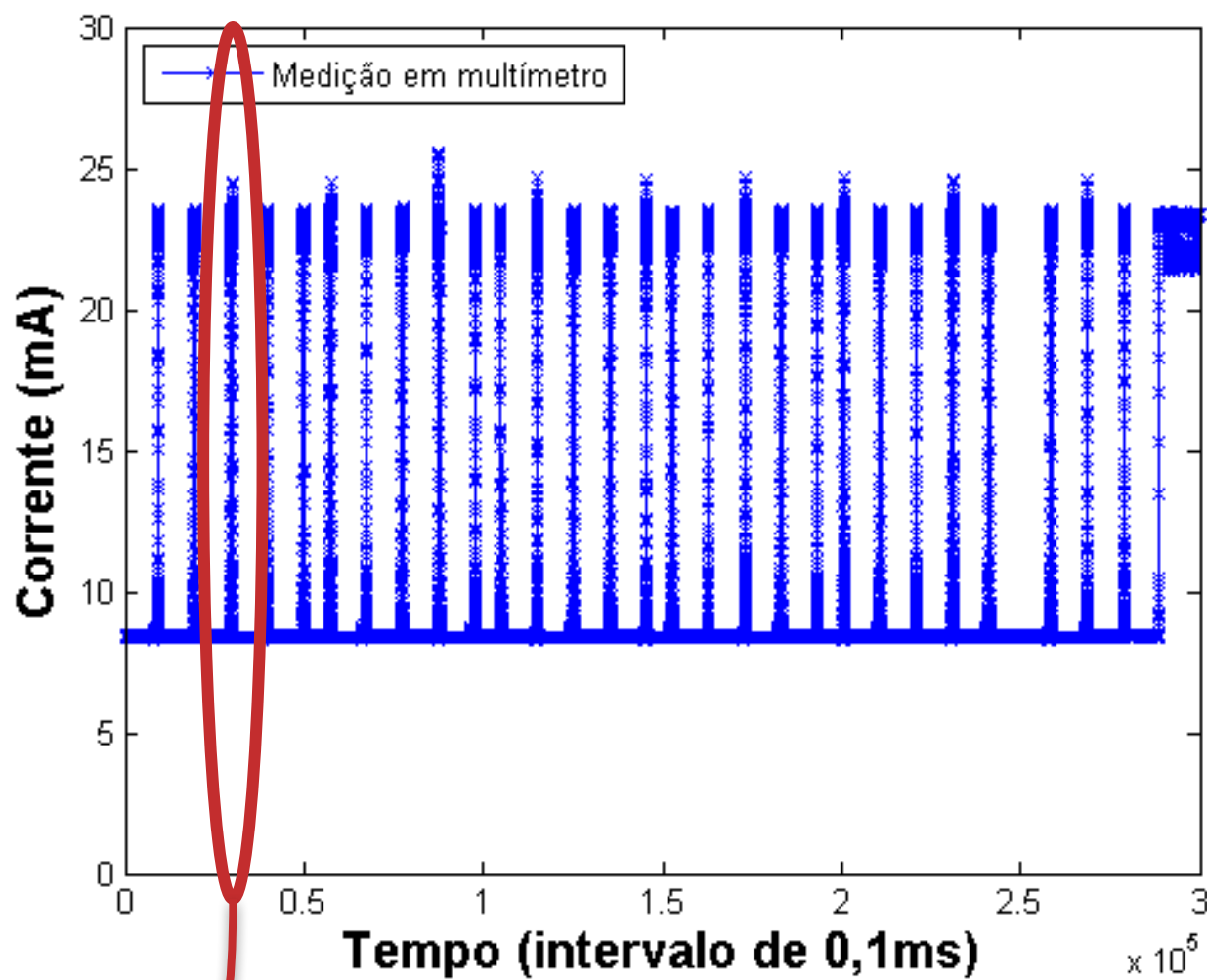
$$\text{Consumo}_{Total} = \text{Tempo}_{Total Tx grupo} \cdot \text{Cons}_{Tx} + \text{Tempo}_{Total Rx grupo} \cdot \text{Cons}_{Rx} + \text{Tempo}_{Total ocioso grupo} \cdot \text{Cons}_{Ocioso} + \text{Tempo}_{Total Sleep grupo} \cdot \text{Cons}_{Sleep}, \quad (4.8)$$

Variável	Valor
Cons _{Tx}	16,5 mA
Cons _{Rx}	15,5 mA
Cons _{Ocioso}	7,8 mA
Cons _{Sleep}	0,00002 mA

Metodologia – Obtenção de resultados: Medição em Multímetro digital



- Integração entre software MATLAB e multímetro Agilent 34410A
- Medição direta da corrente de trabalho do módulo
- Cálculo do consumo pelo tempo e gráfico obtido



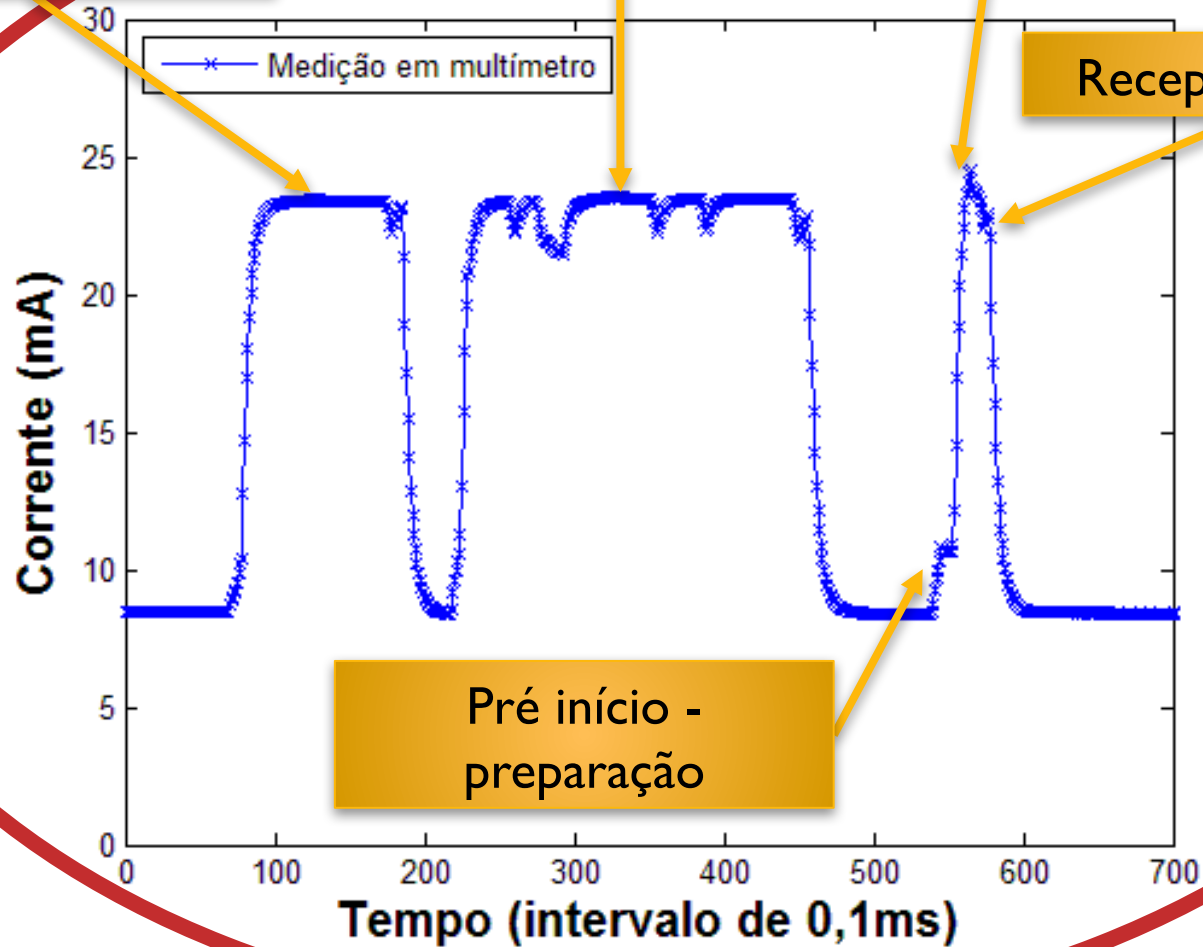


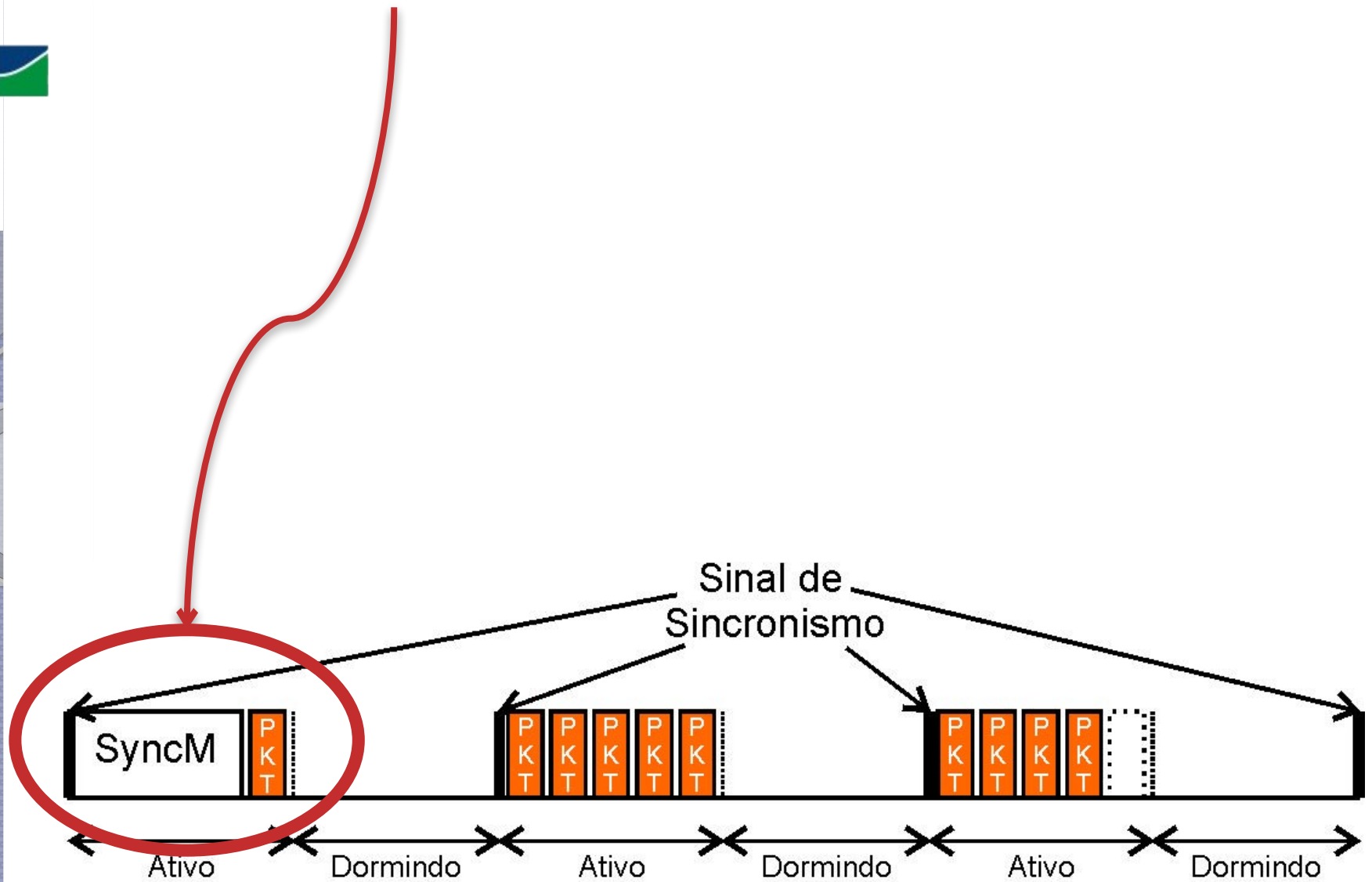
Espera por *beacon* e recepção deste (Longa espera!)

Transmissões e recepções durante SyncM

Transmissões de pacote

Recepção de ACK



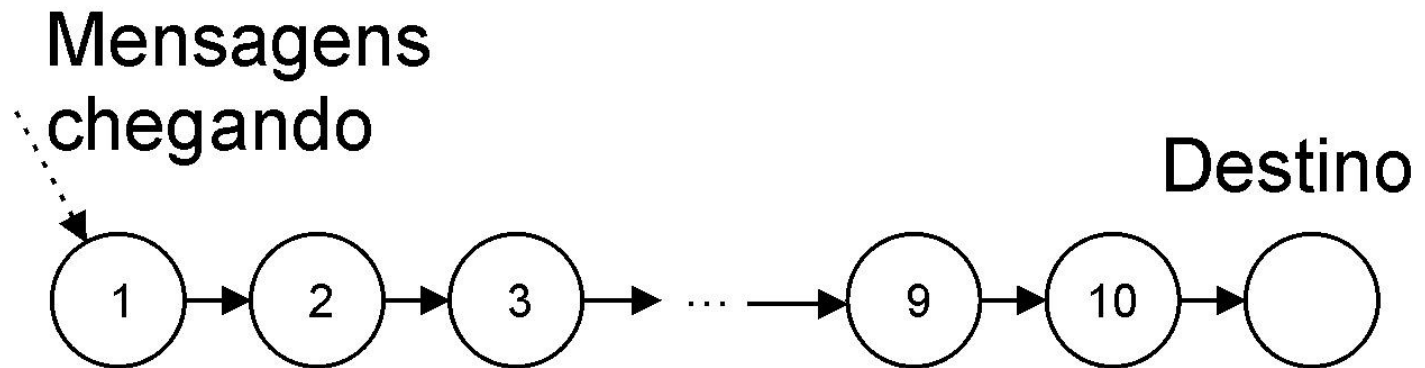




Sumário da apresentação

- Introdução
- Objetivos
- Aspectos relevantes, trabalhos relacionados e motivação
- DyTEE
- Metodologia
 - Simulação
 - Escolha da plataforma
 - Obtenção de resultados
- Resultados
 - Simulações, topologia, parâmetros
 - Parâmetros do artigo S-MAC (MICA, topologia linear)
 - Parâmetros Atualizados (Zigbit, topologia estrela)
 - Experimento em módulos reais, topologia e parâmetros:
 - Por contagem de bytes
 - Por medição em multímetro
 - Tempo de vida do módulo
- Conclusão
- Trabalhos futuros

Resultados – Topologia da rede para simulação – Linear



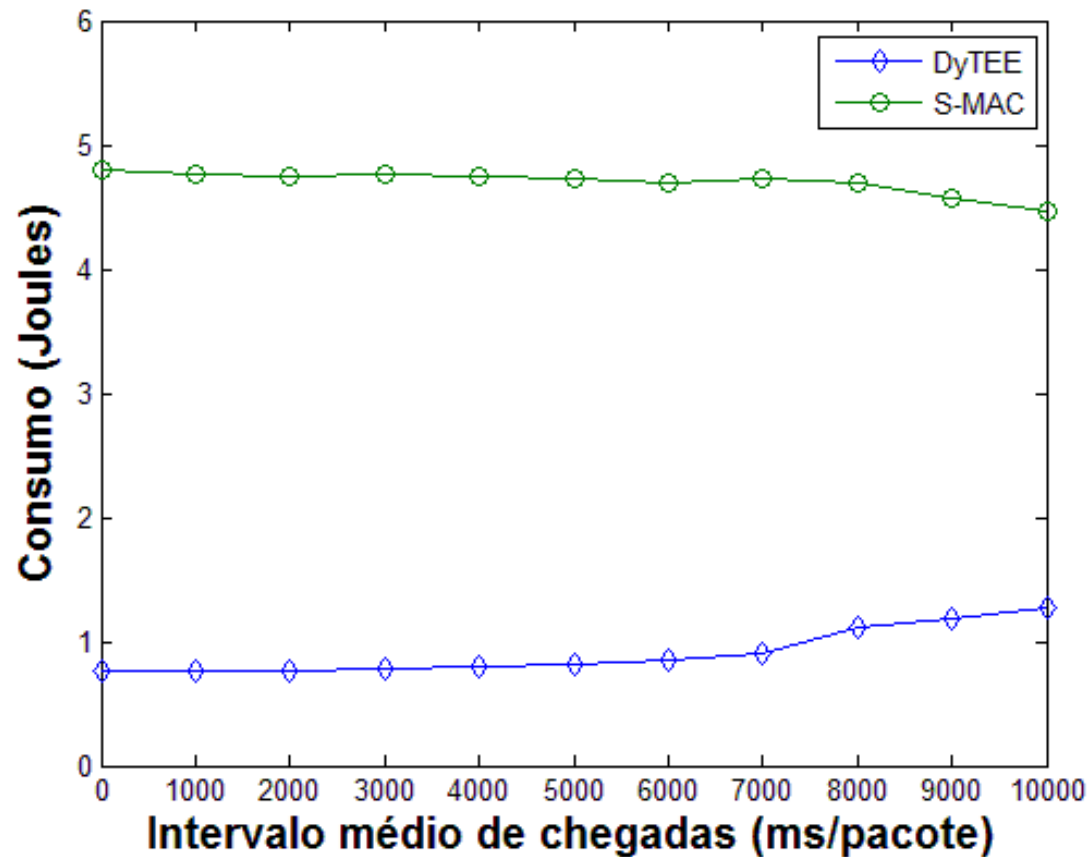
- 10 módulos mais o destino
- Como usado no artigo do S-MAC



Parâmetros da simulação – Linear

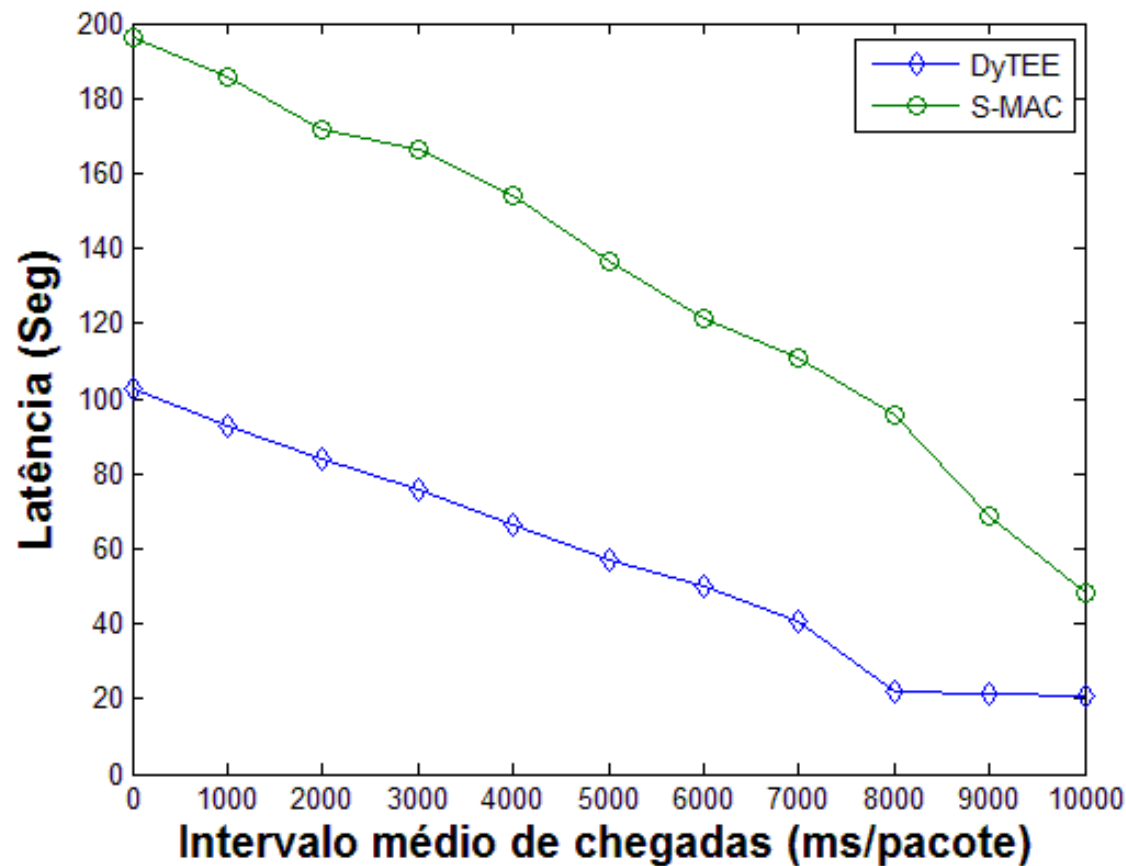
Parâmetro		Value	Unit
Cabeçalhos		5	Byte
Pacotes de controle		10	Byte
Carga útil		100	Byte
Taxa de transmissão		20	Kbps
Ciclo de trabalho		10	%
Tempo máximo ativo		115	ms
Número de nós (não contando o destino)		10	nós
Consumo de energia:	Recepção	14.4	mW
	Transmissão	36	
	Dormindo	0.015	

Resultados das simulações – Linear: Consumo de energia



20 mensagens enviadas com 100 Bytes cada

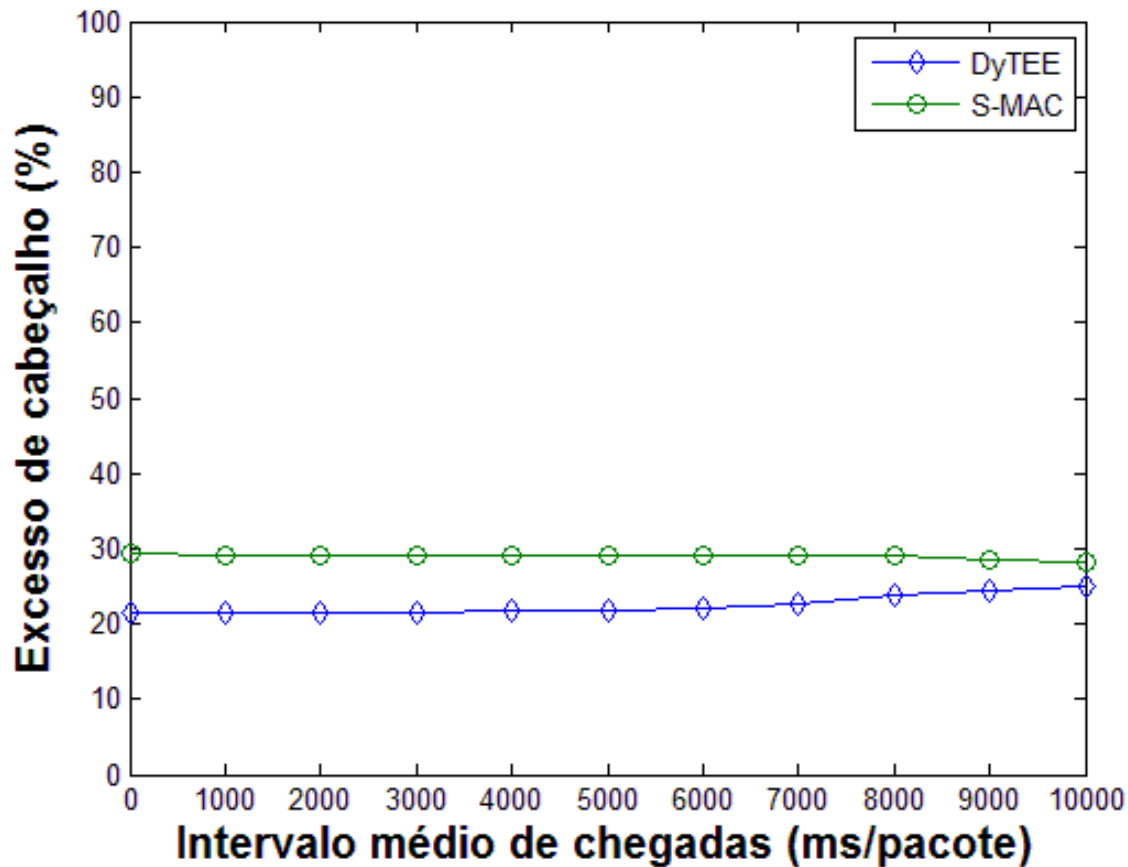
Resultados das simulações – Linear: Latência



20 mensagens enviadas com 100 Bytes cada

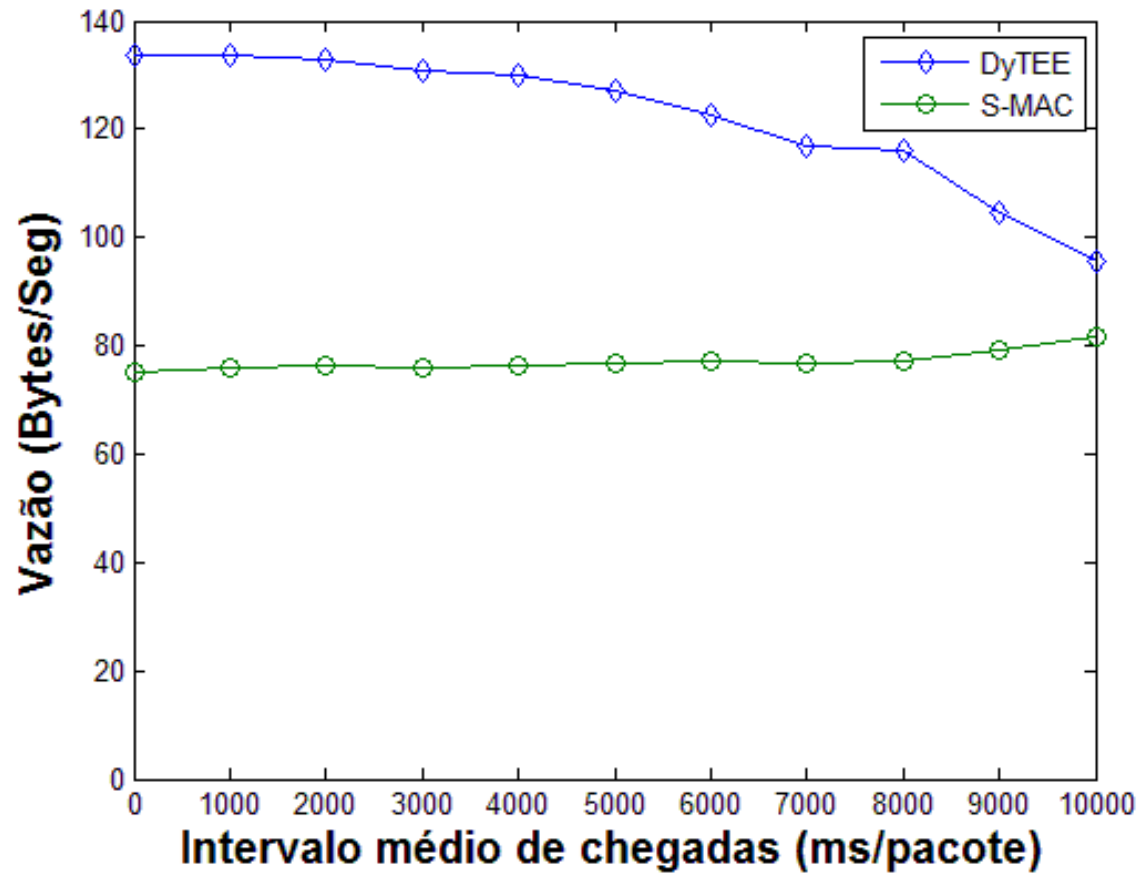
Resultados das simulações – Linear:

Excesso de cabeçalho



20 mensagens enviadas com 100 Bytes cada

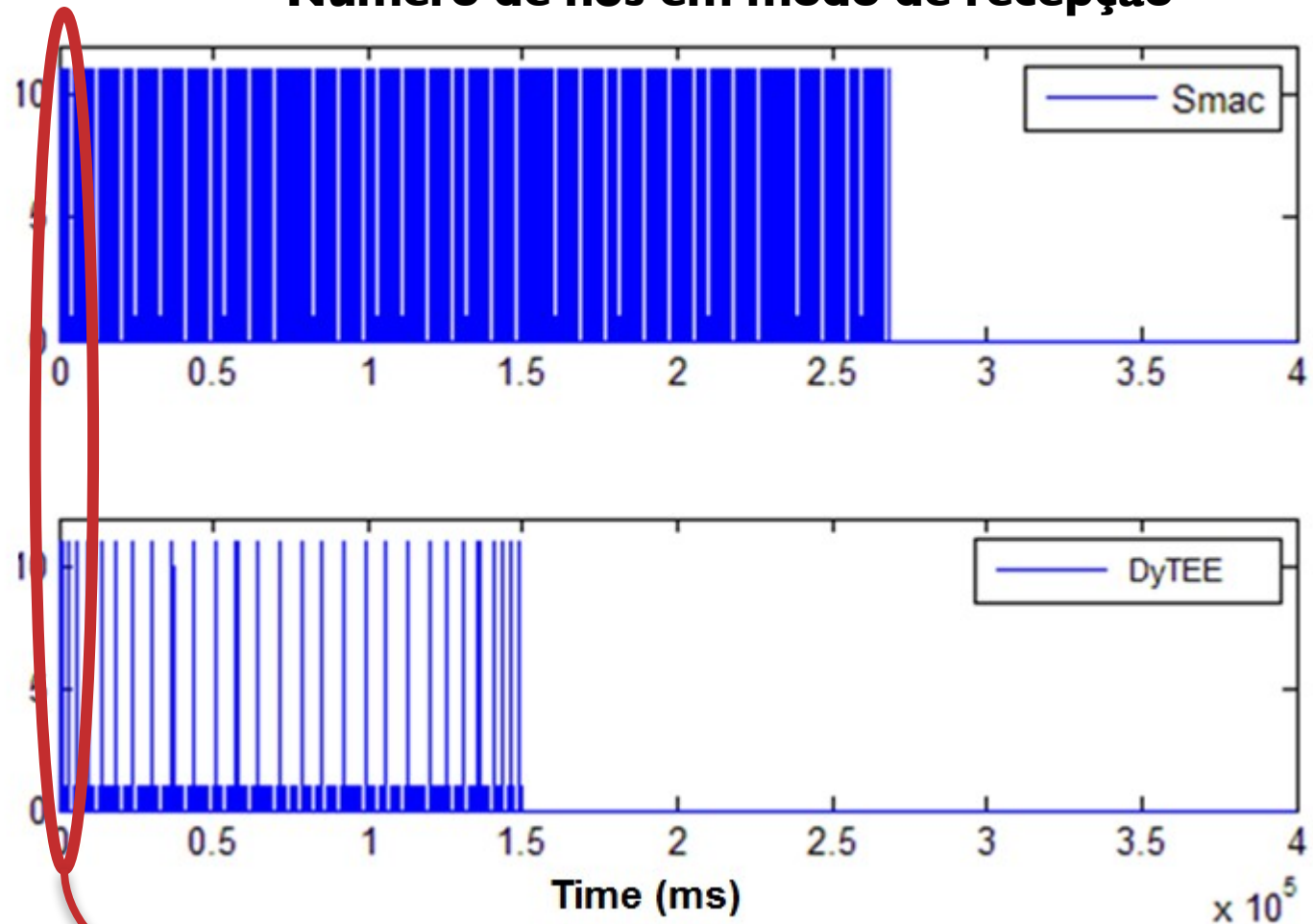
Resultados das simulações – Linear: Vazão

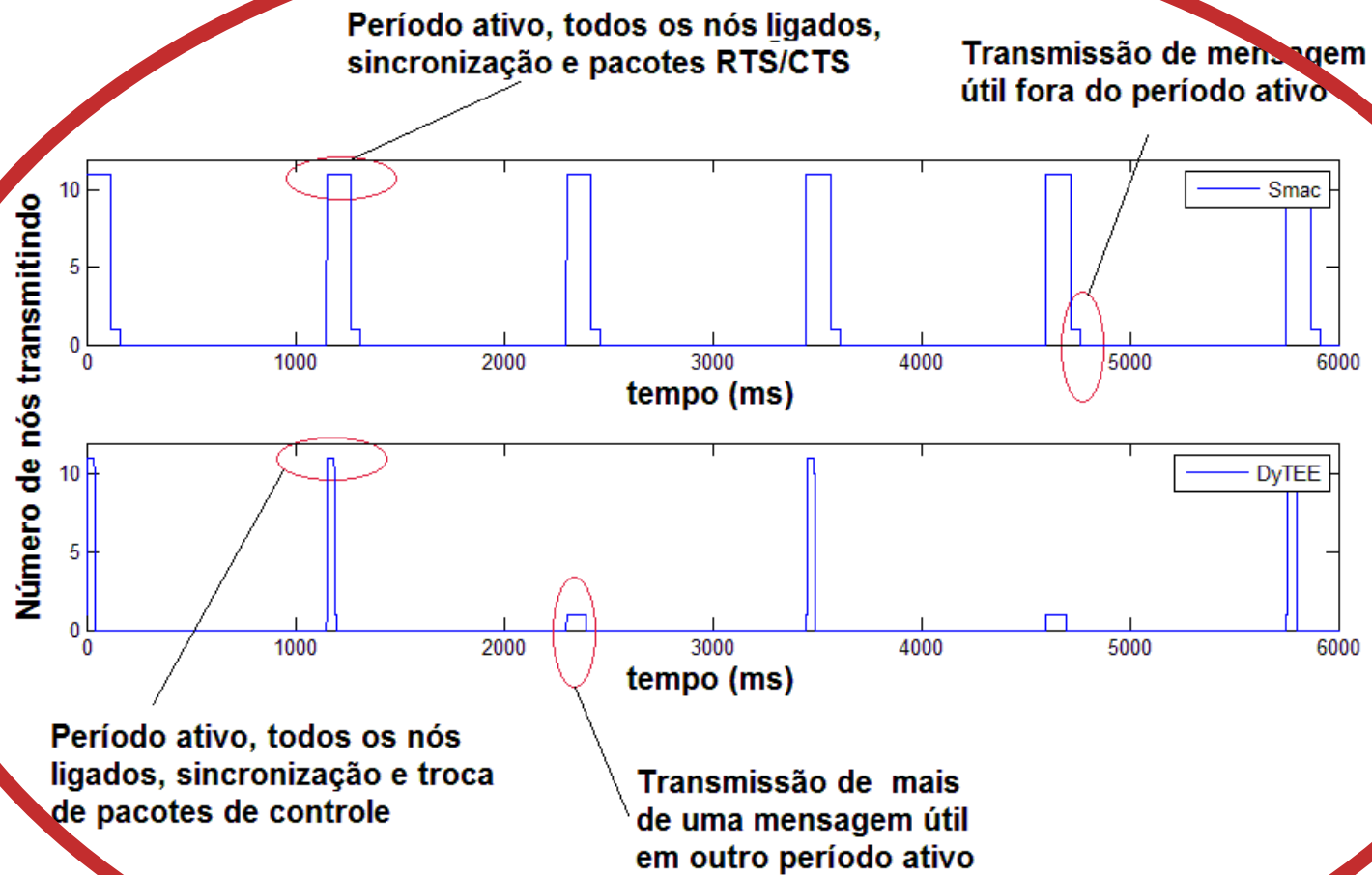


20 mensagens enviadas com 100 Bytes cada

Simulações – Linear: DyTEE x S-MAC

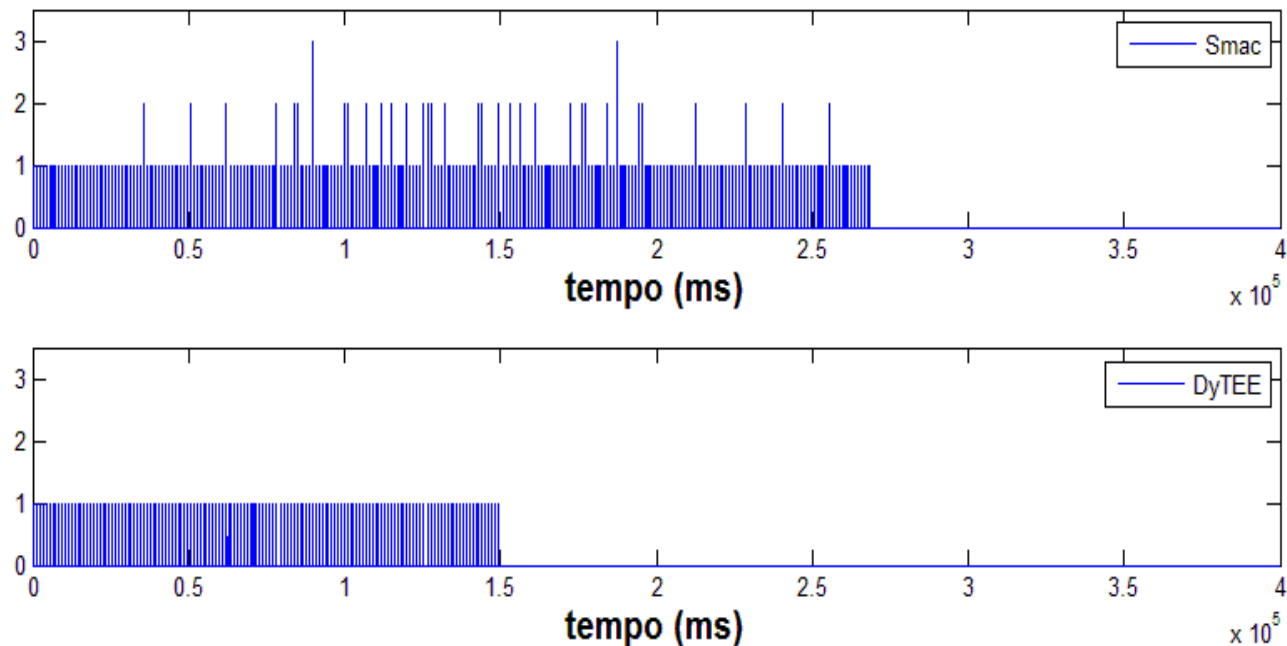
Número de nós em modo de recepção





Simulações – Linear: DyTEE x S-MAC

Número de nós em modo de transmissão

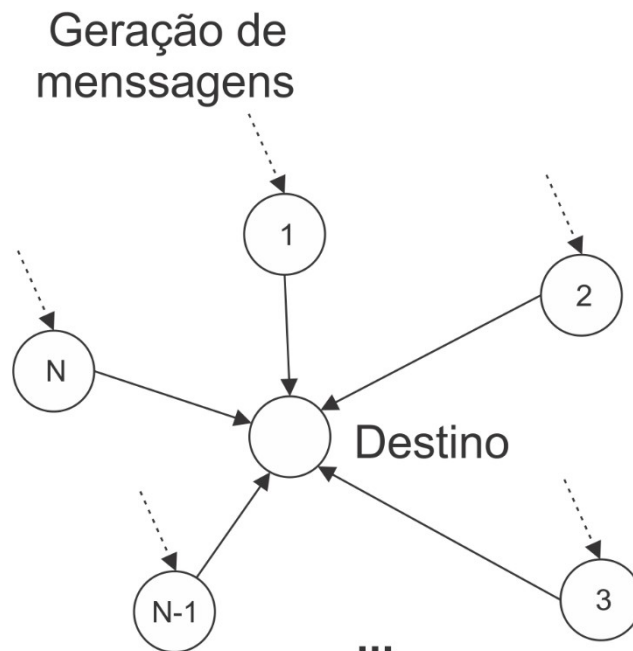




Sumário da apresentação

- Introdução
- Objetivos
- Aspectos relevantes, trabalhos relacionados e motivação
- DyTEE
- Metodologia
 - Simulação
 - Escolha da plataforma
 - Obtenção de resultados
- Resultados
 - Simulações, topologia, parâmetros
 - Parâmetros do artigo S-MAC (MICA, topologia linear)
 - Parâmetros Atualizados (Zigbit, topologia estrela)
 - Experimento em módulos reais, topologia e parâmetros:
 - Por contagem de bytes
 - Por medição em multímetro
 - Tempo de vida do módulo
- Conclusão
- Trabalhos futuros

Resultados – Topologia da rede para simulação – Estrela



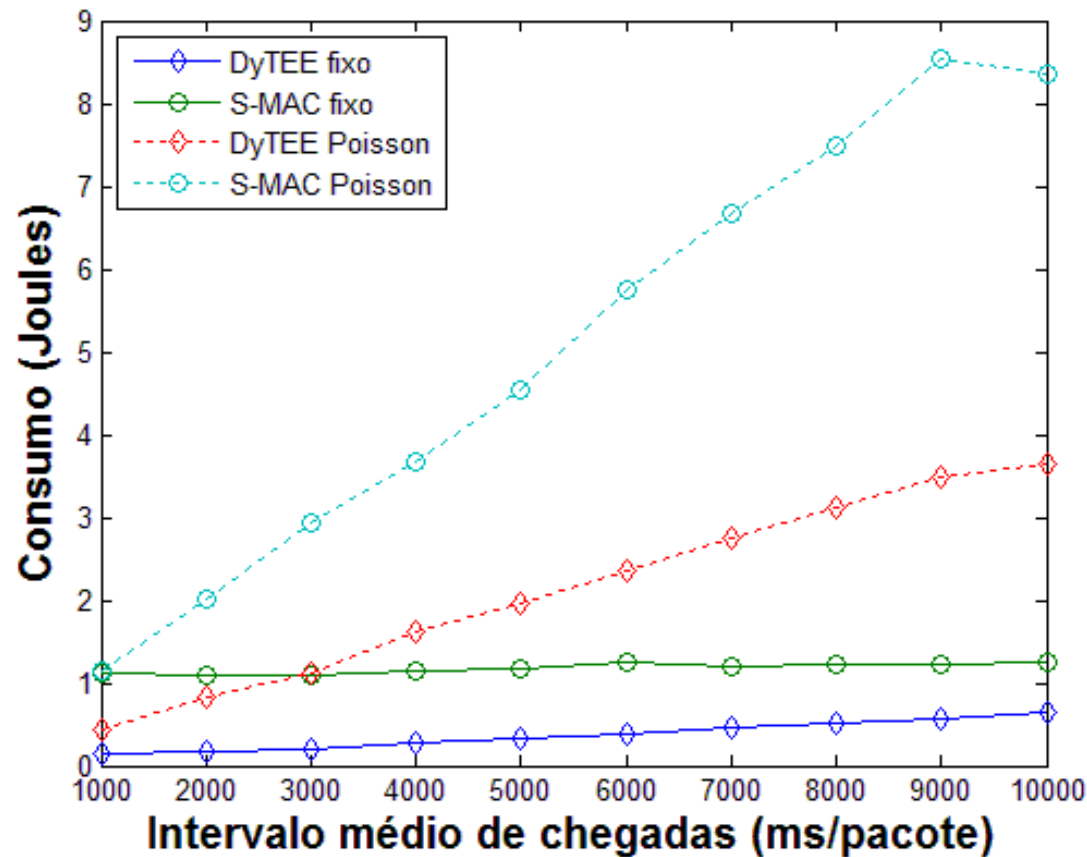
- 7 módulos mais o destino
- Dois experimentos:
 - Taxa de chegadas fixas
 - Taxa variável com Poisson



Parâmetros da simulação – Estrela

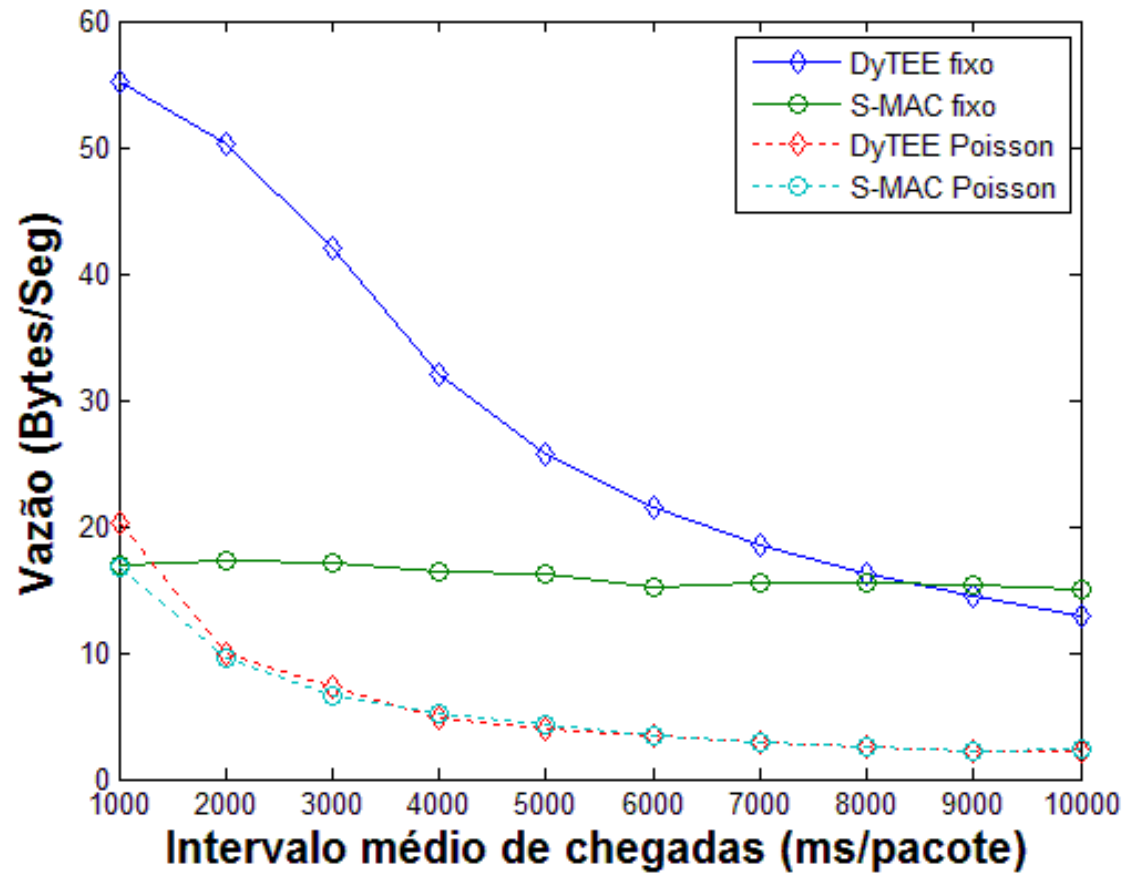
Parâmetro		Valor S-MAC	Valor DyTEE	Unit
Cabeçalhos		5	8	Byte
Pacotes de controle		10	8	Byte
Carga útil		20	20	Byte
Taxa de transmissão		250	250	Kbps
Ciclo de trabalho		4,5	5,6	%
Tempo máximo ativo		45	56	ms
Número de nós (não contando o destino)		8	8	nós
Consumo de energia:	Recepção	51,15	51,15	mW
	Transmissão	54,45	54,45	
	Dormindo	0.000066	0.000066	

Resultados das simulações – Estrela: Consumo de energia



50 mensagens enviadas com 20 Bytes cada

Resultados das simulações – Estrela: Vazão

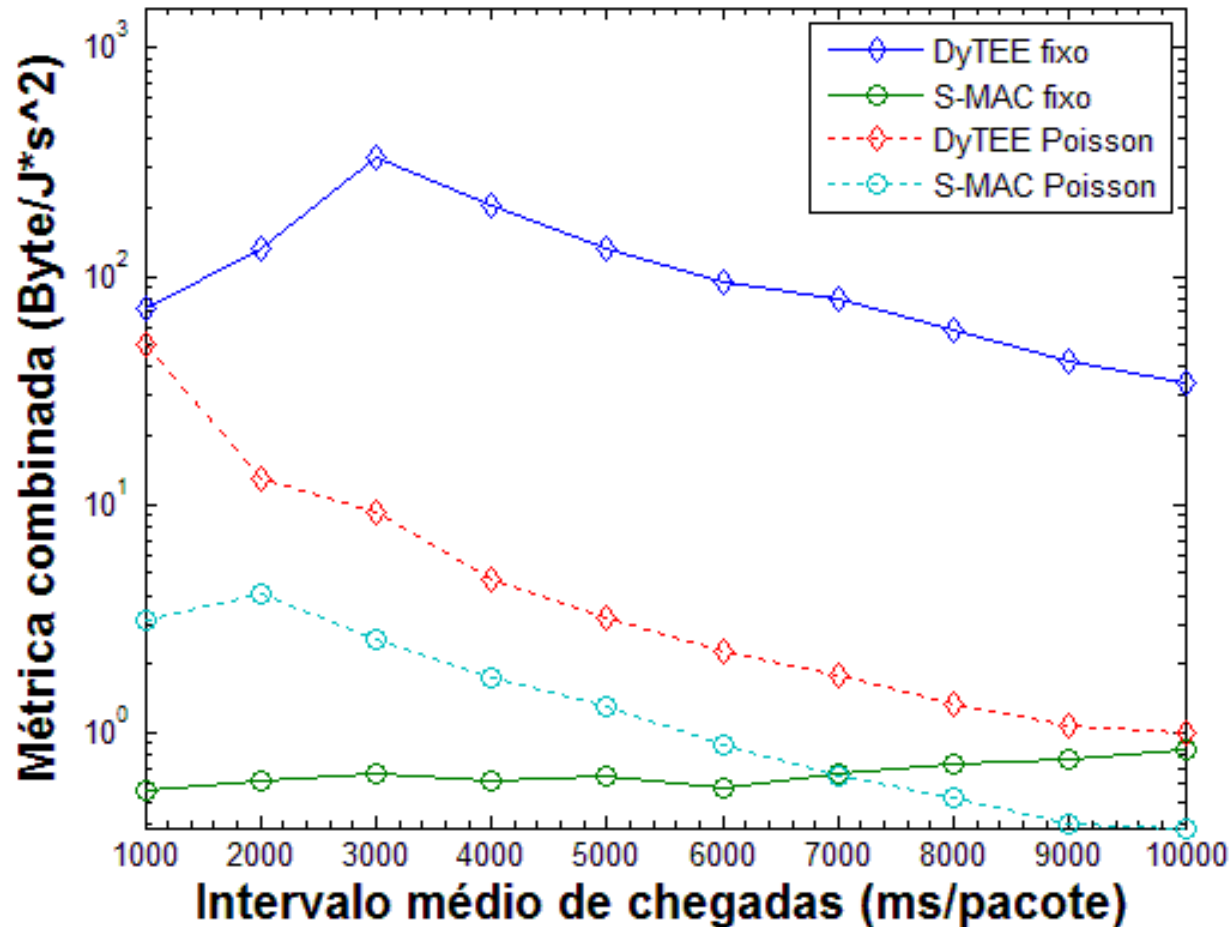


50 mensagens enviadas com 20 Bytes cada

Resultados das simulações – Estrela:

Vazão

*(Consumo de energia * Latência)*



50 mensagens enviadas com 20 Bytes cada

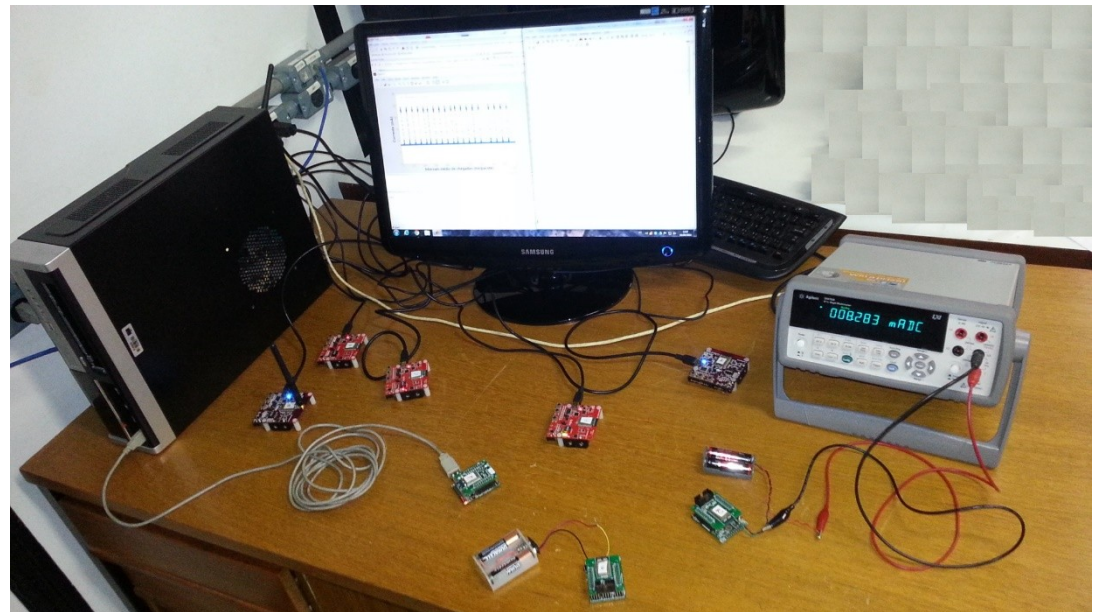
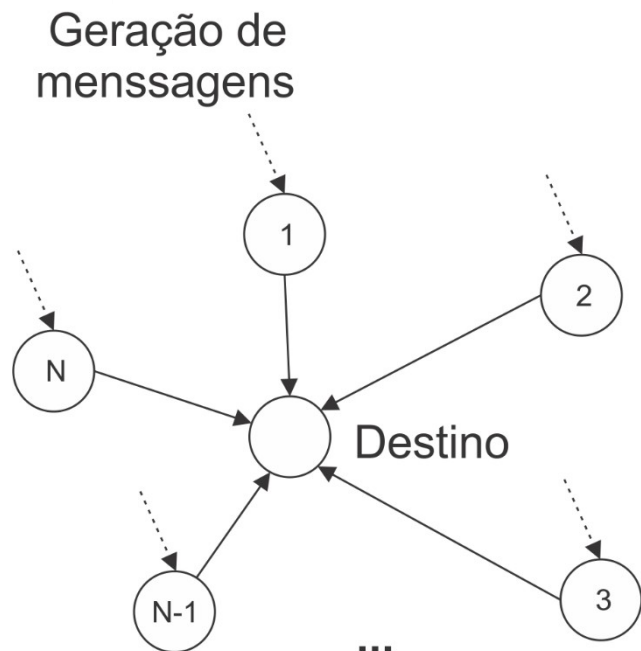


Sumário da apresentação

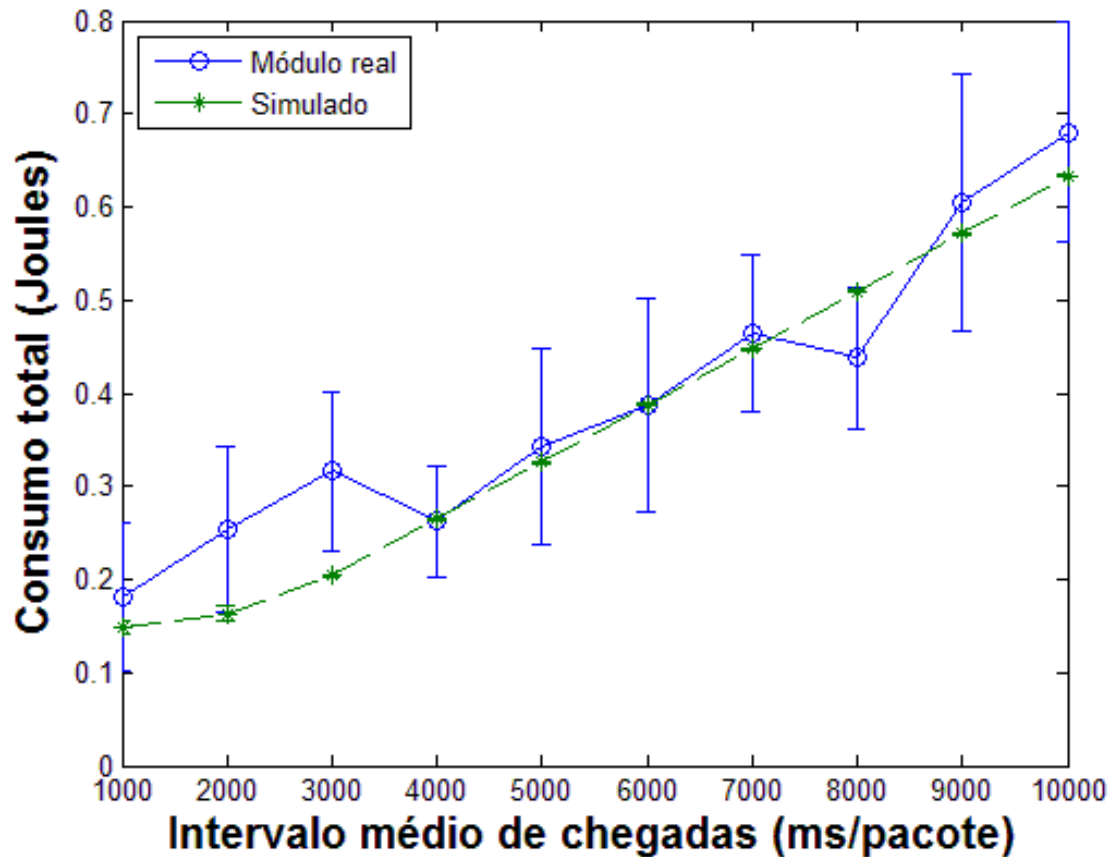
- Introdução
- Objetivos
- Aspectos relevantes, trabalhos relacionados e motivação
- DyTEE
- Metodologia
 - Simulação
 - Escolha da plataforma
 - Obtenção de resultados
- **Resultados**
 - Simulações, topologia, parâmetros
 - Parâmetros do artigo S-MAC (MICA, topologia linear)
 - Parâmetros Atualizados (Zigbit, topologia estrela)
 - **Experimento em módulos reais, topologia e parâmetros:**
 - Por contagem de bytes
 - Por medição em multímetro
 - Tempo de vida do módulo
- Conclusão
- Trabalhos futuros

Resultados – Topologia da rede em módulos reais – Estrela

- 7 módulos mais o destino

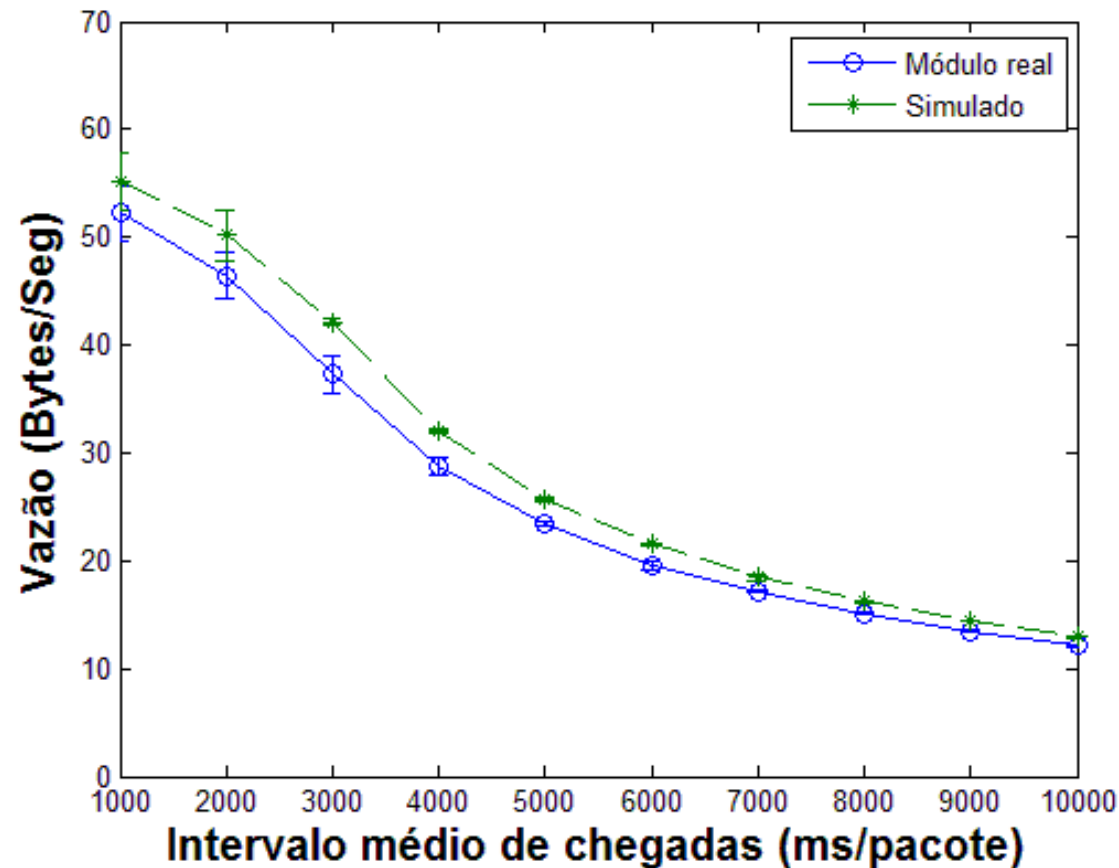


Resultados dos experimentos – Validação: Consumo de energia



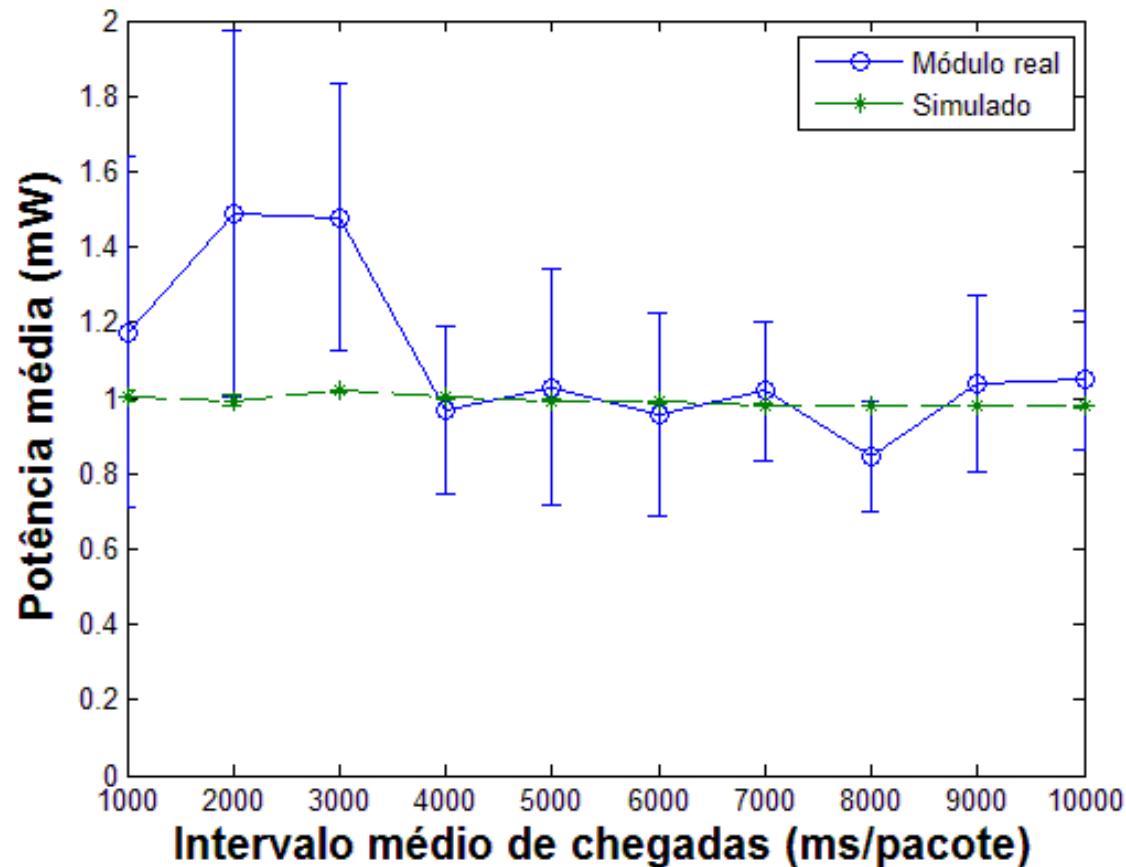
50 mensagens enviadas com 20 Bytes cada

Resultados dos experimentos – Validação: Vazão



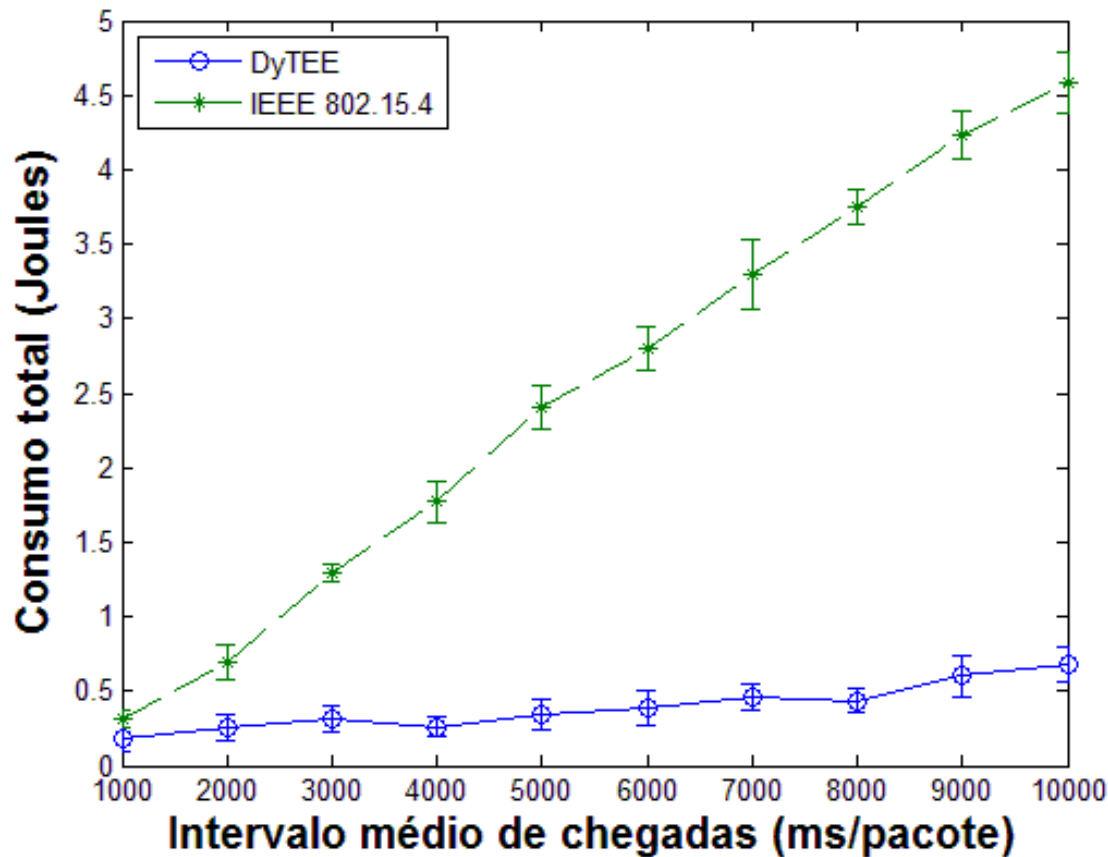
50 mensagens enviadas com 20 Bytes cada

Resultados dos experimentos – Validação: Potência média consumida



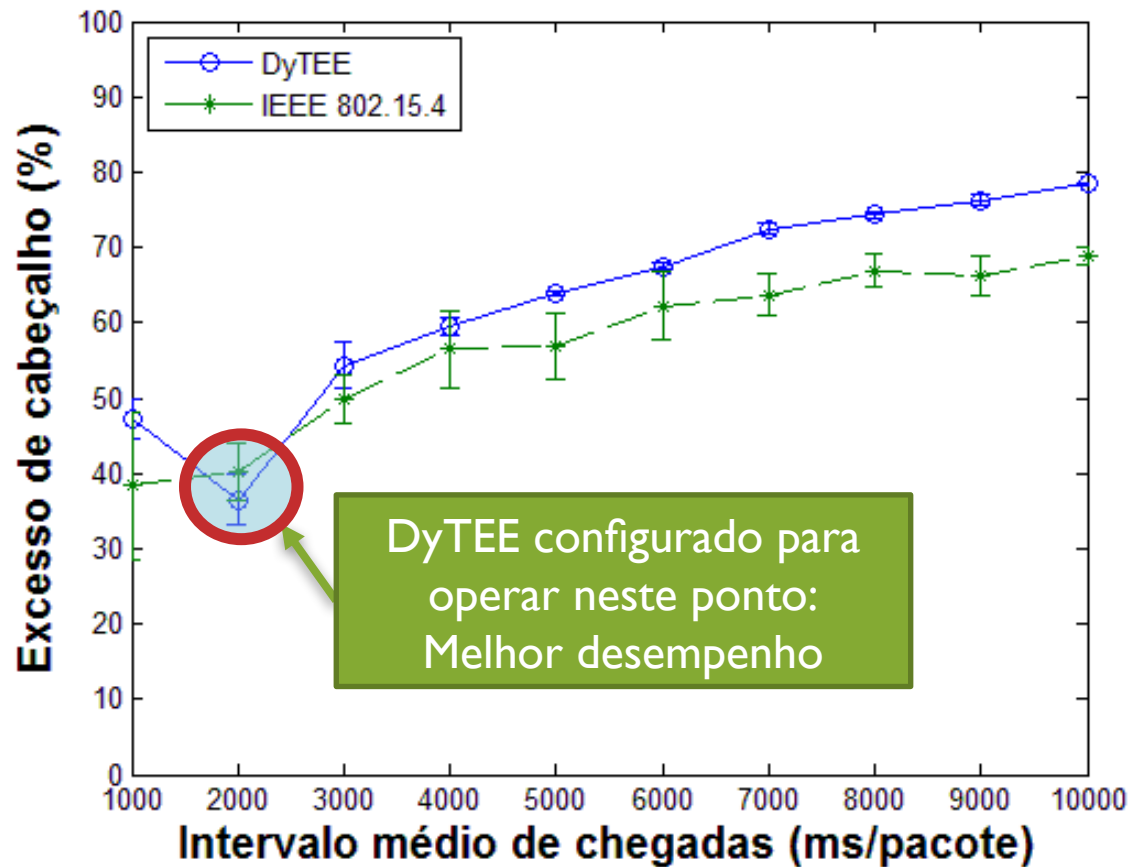
50 mensagens enviadas com 20 Bytes cada

Resultados dos experimentos – Comparação: Consumo de energia



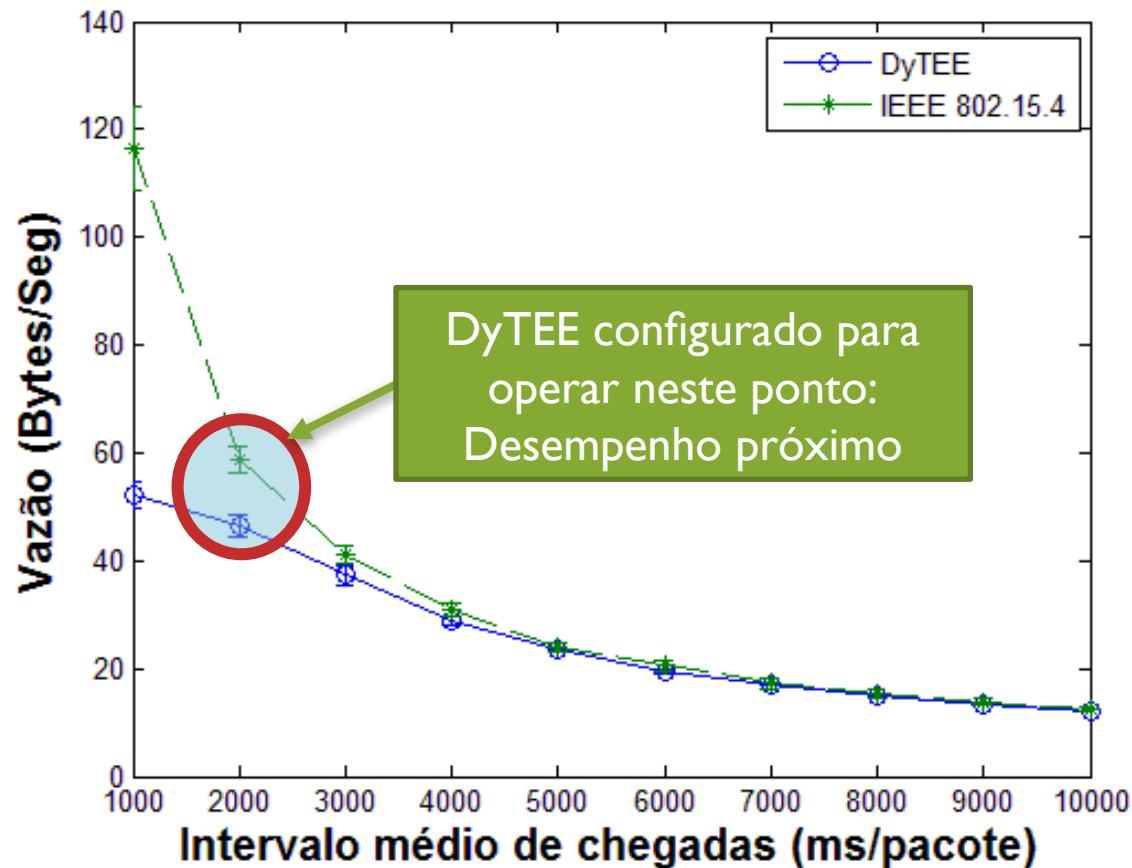
50 mensagens enviadas com 20 Bytes cada

Resultados dos experimentos – Comparação: Excesso de cabeçalho



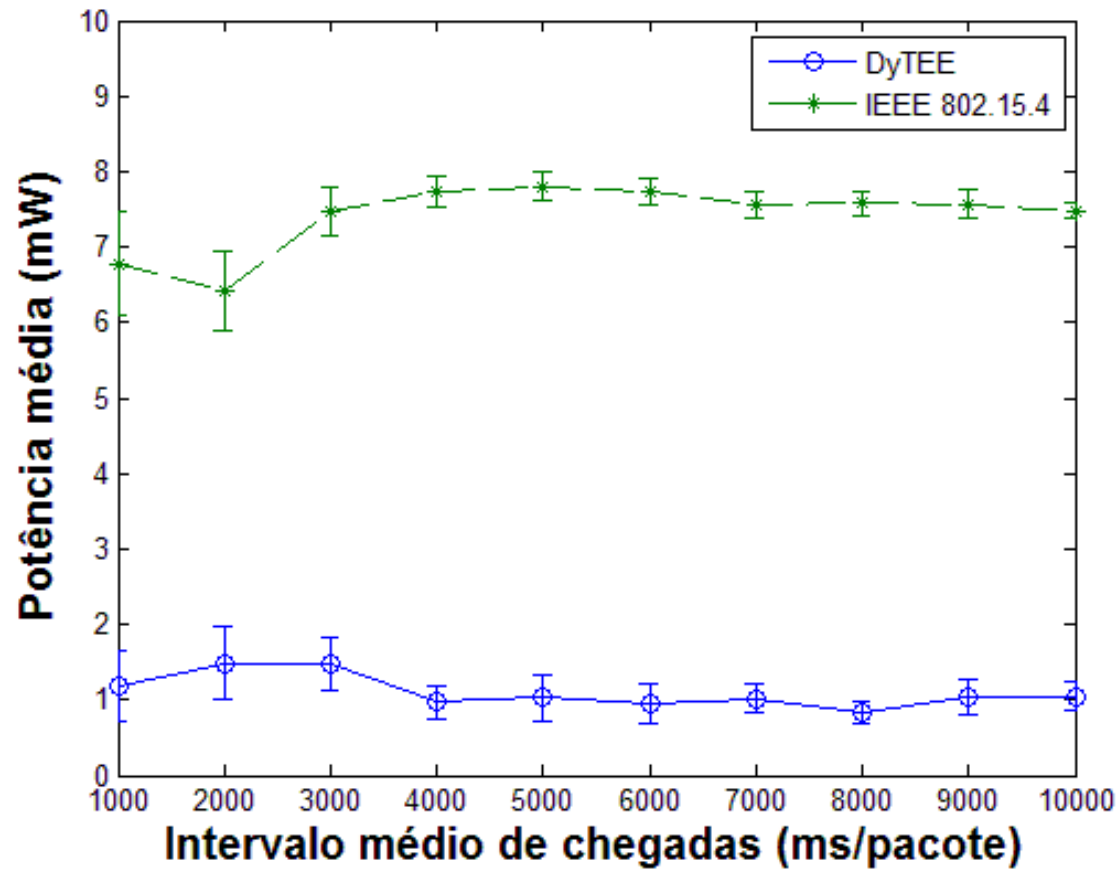
50 mensagens enviadas com 20 Bytes cada

Resultados dos experimentos – Comparação: Vazão



50 mensagens enviadas com 20 Bytes cada

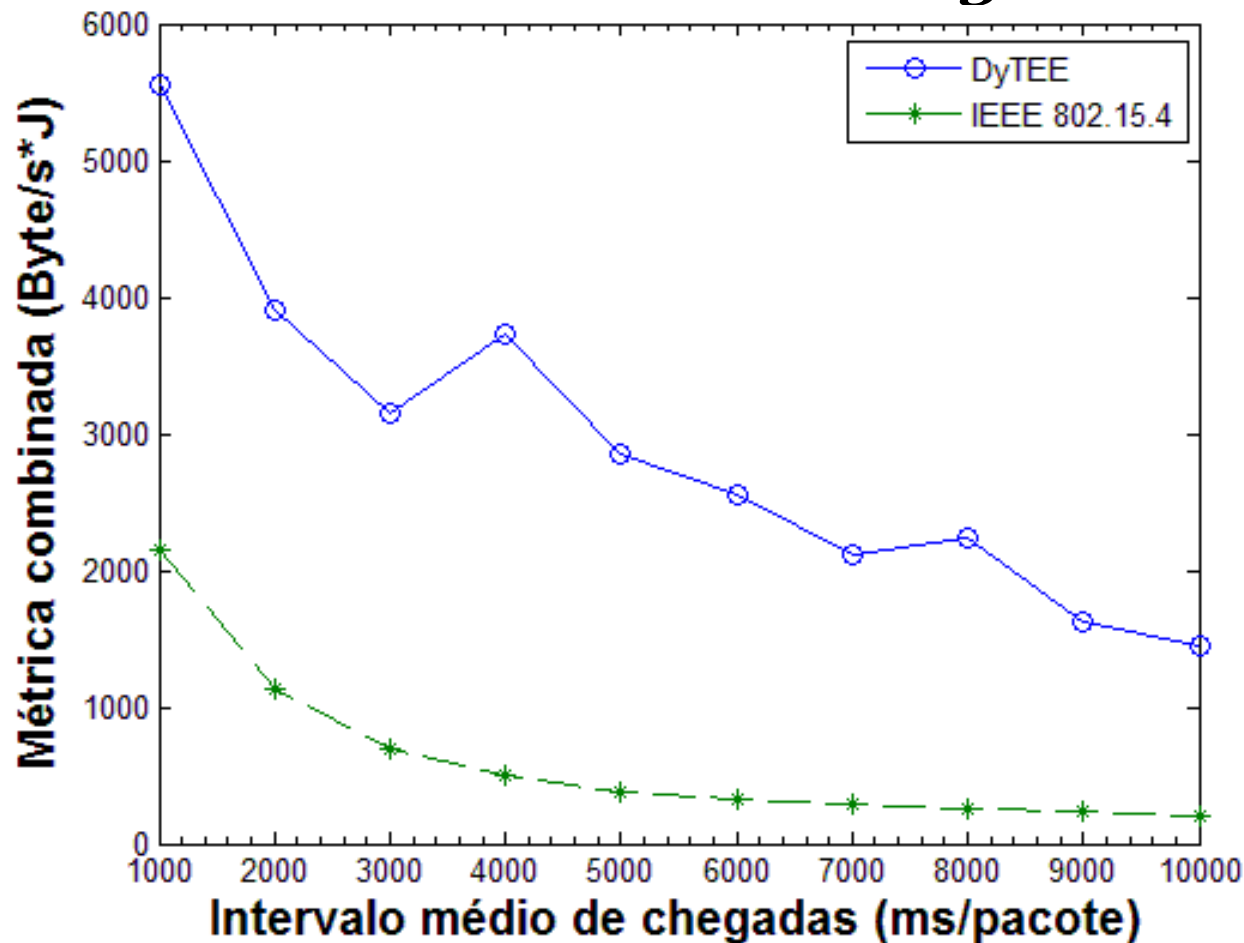
Resultados dos experimentos – Comparação: Potência média consumida



50 mensagens enviadas com 20 Bytes cada

Resultados dos experimentos –

Comparação: *Vazão* *Consumo de energia*



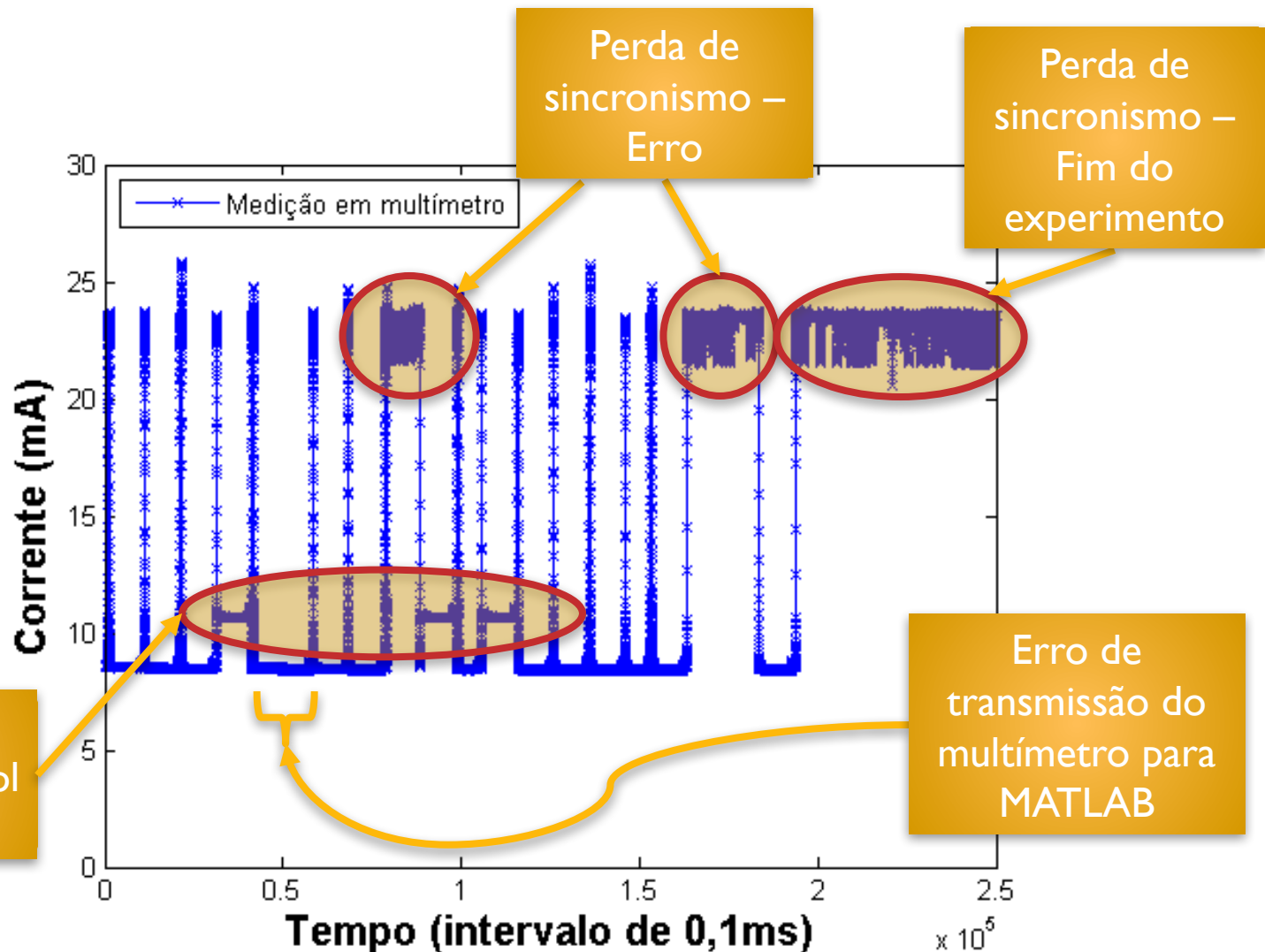
50 mensagens enviadas com 20 Bytes cada



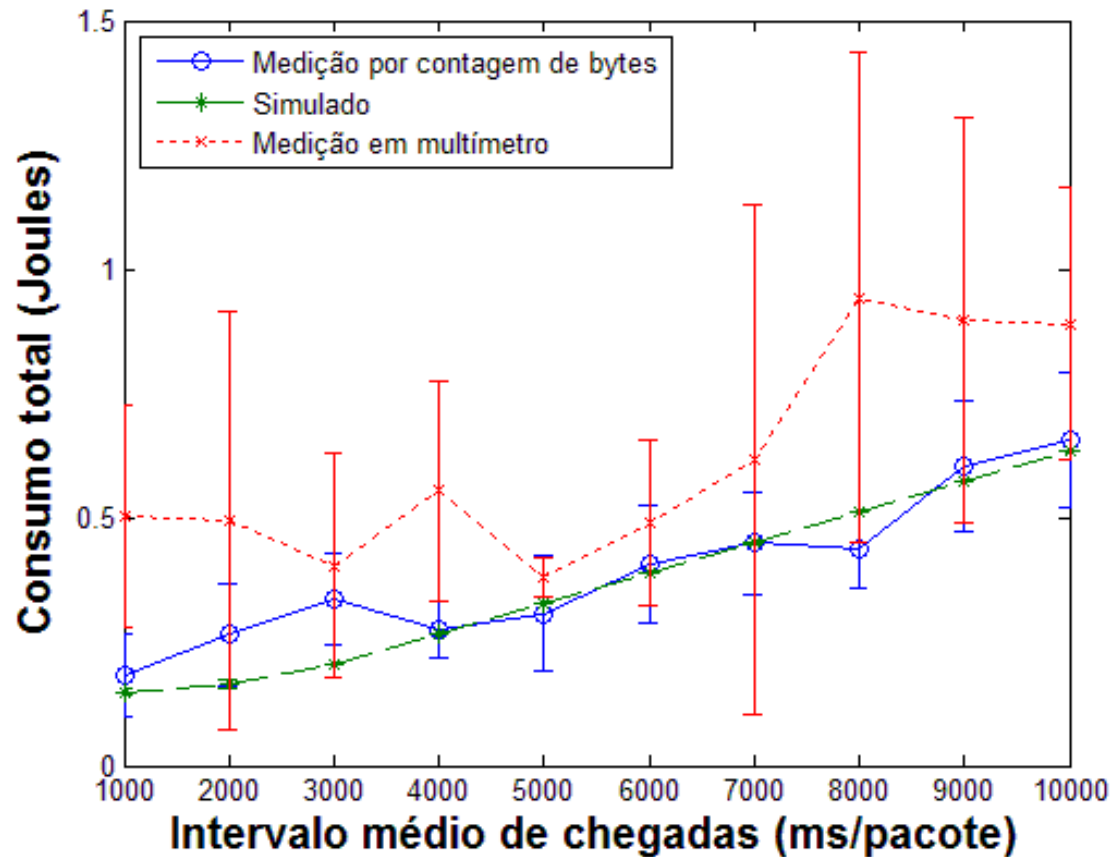
Sumário da apresentação

- Introdução
- Objetivos
- Aspectos relevantes, trabalhos relacionados e motivação
- DyTEE
- Metodologia
 - Simulação
 - Escolha da plataforma
 - Obtenção de resultados
- **Resultados**
 - Simulações, topologia, parâmetros
 - Parâmetros do artigo S-MAC (MICA, topologia linear)
 - Parâmetros Atualizados (Zigbit, topologia estrela)
 - **Experimento em módulos reais, topologia e parâmetros:**
 - Por contagem de bytes
 - Por medição em multímetro
 - Tempo de vida do módulo
- Conclusão
- Trabalhos futuros

Resultados dos experimentos – Problemas na medição por multímetro



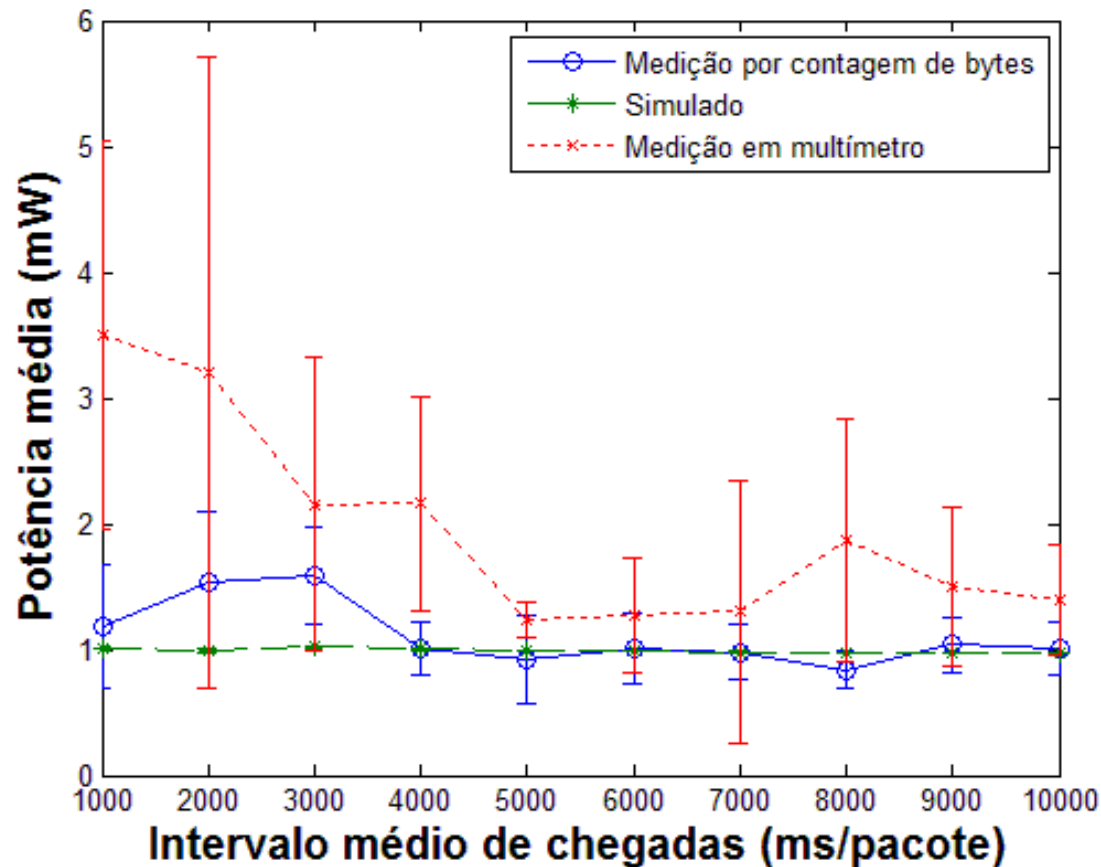
Resultados dos experimentos – Validação: Consumo de energia



50 mensagens enviadas com 20 Bytes cada

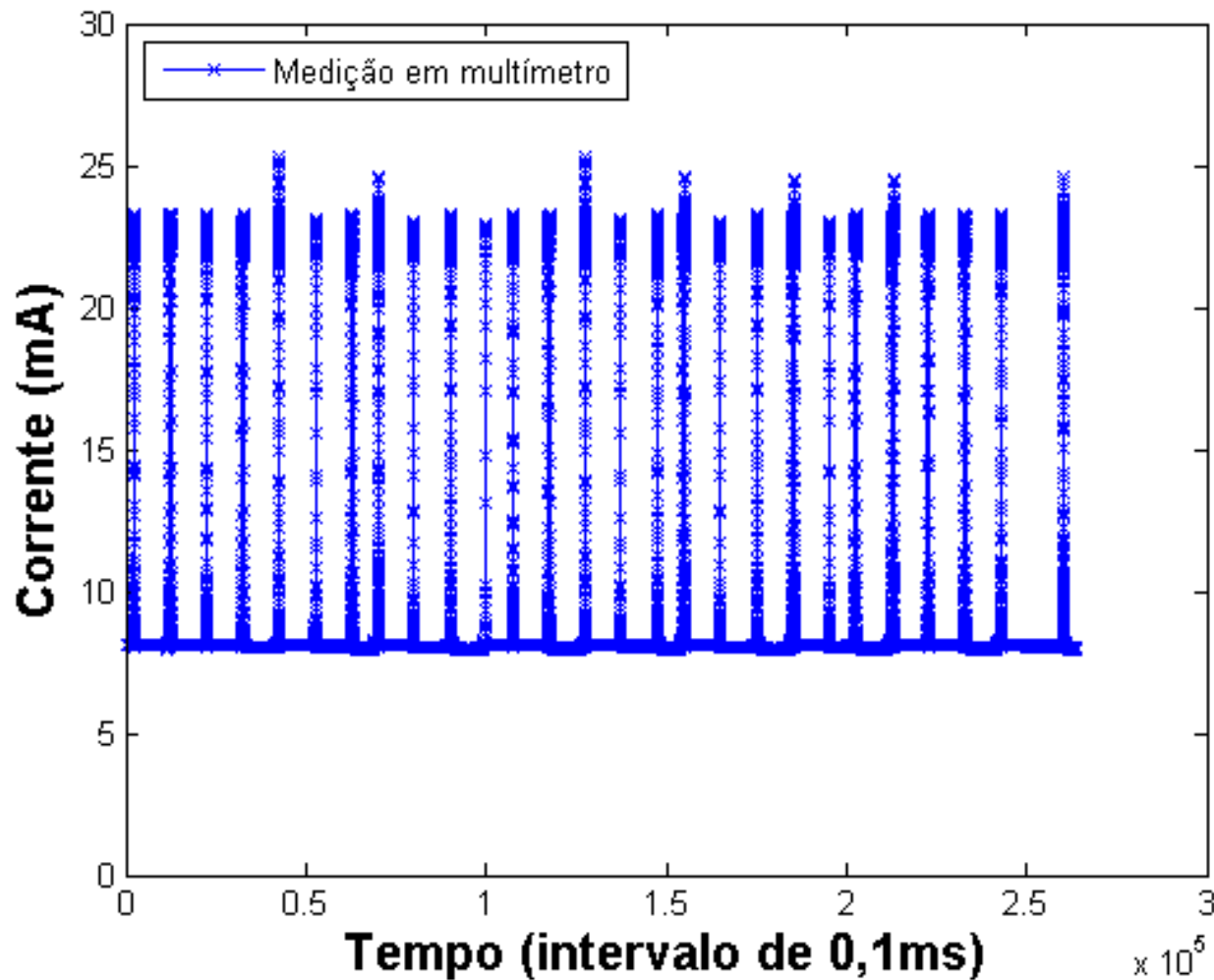
Resultados dos experimentos – Validação:

Potência média consumida

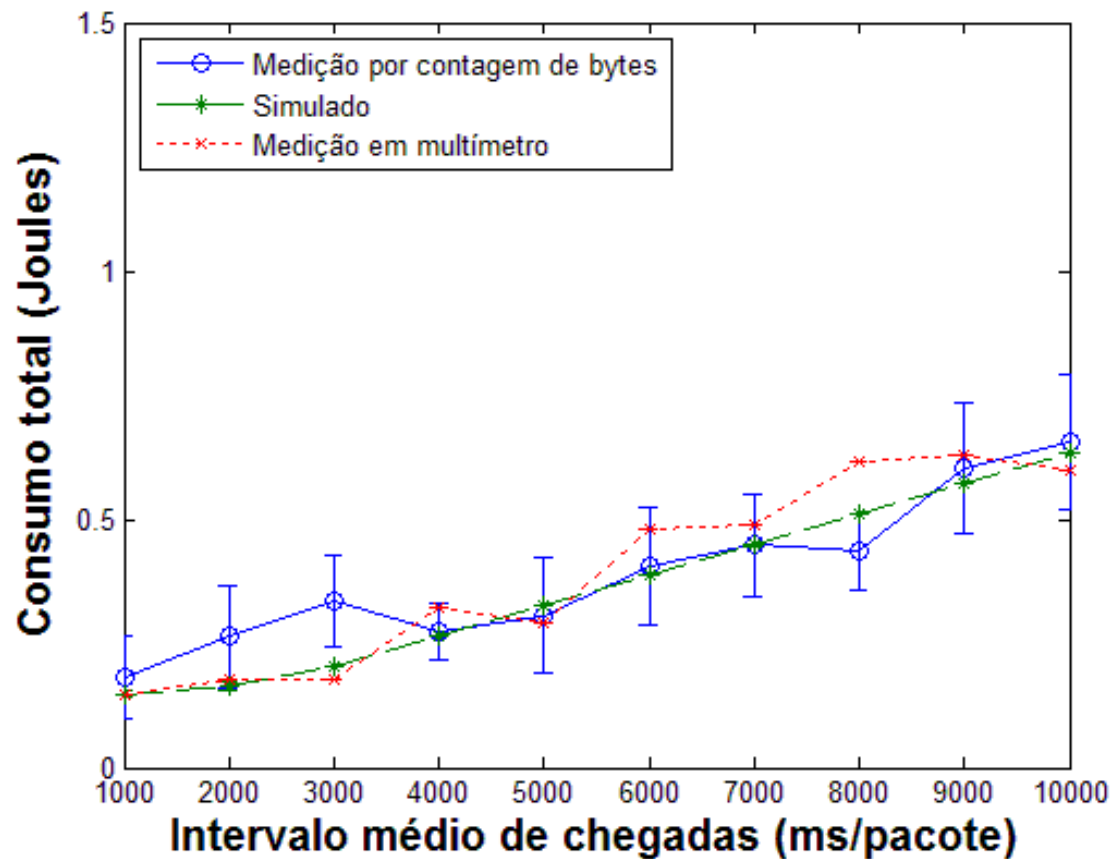


50 mensagens enviadas com 20 Bytes cada

Resultados dos experimentos – Pontos modificados para plataforma ideal



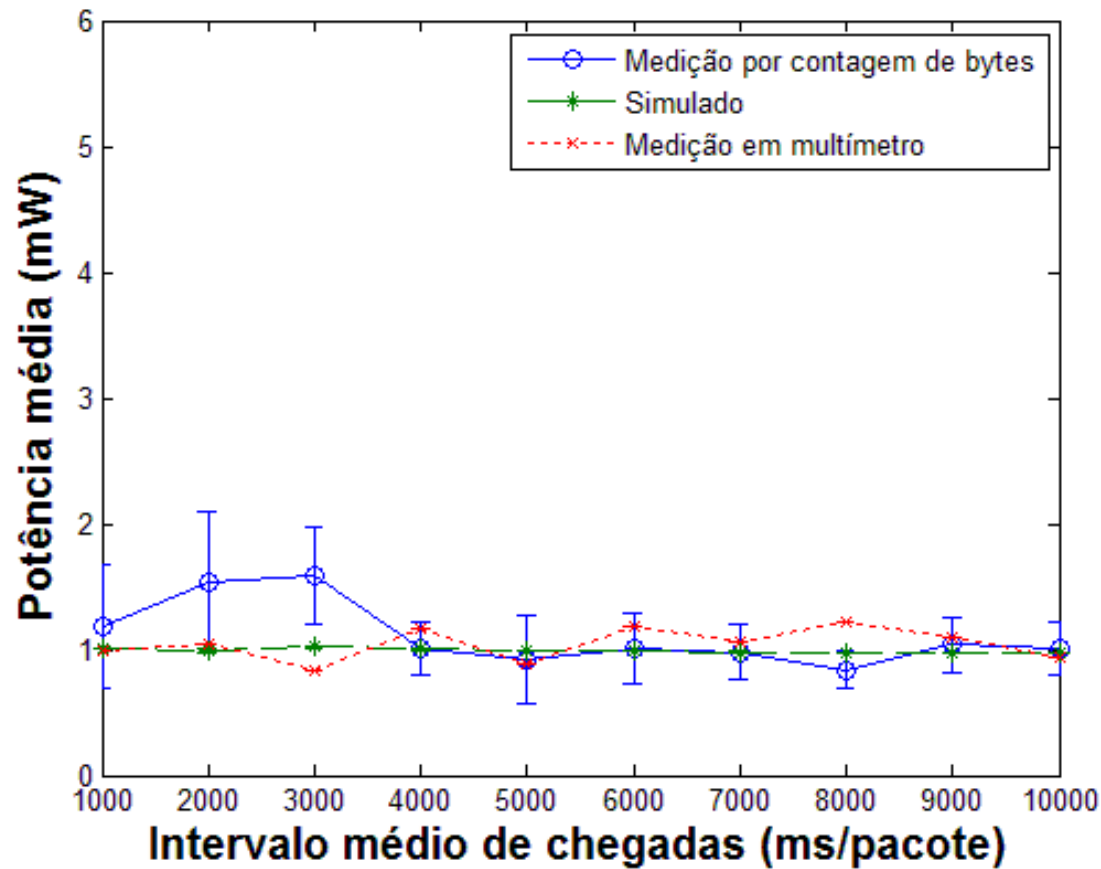
Resultados dos experimentos – Ideal: Consumo de energia



50 mensagens enviadas com 20 Bytes cada

Resultados dos experimentos – Validação:

Potência média consumida



50 mensagens enviadas com 20 Bytes cada



Sumário da apresentação

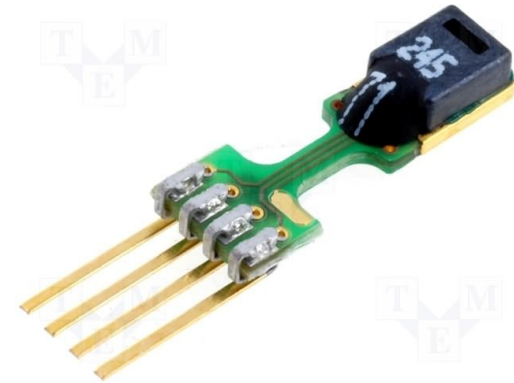
- Introdução
- Objetivos
- Aspectos relevantes, trabalhos relacionados e motivação
- DyTEE
- Metodologia
 - Simulação
 - Escolha da plataforma
 - Obtenção de resultados
- **Resultados**
 - Simulações, topologia, parâmetros
 - Parâmetros do artigo S-MAC (MICA, topologia linear)
 - Parâmetros Atualizados (Zigbit, topologia estrela)
 - Experimento em módulos reais, topologia e parâmetros:
 - Por contagem de bytes
 - Por medição em multímetro
 - **Tempo de vida do módulo**
- Conclusão
- Trabalhos futuros



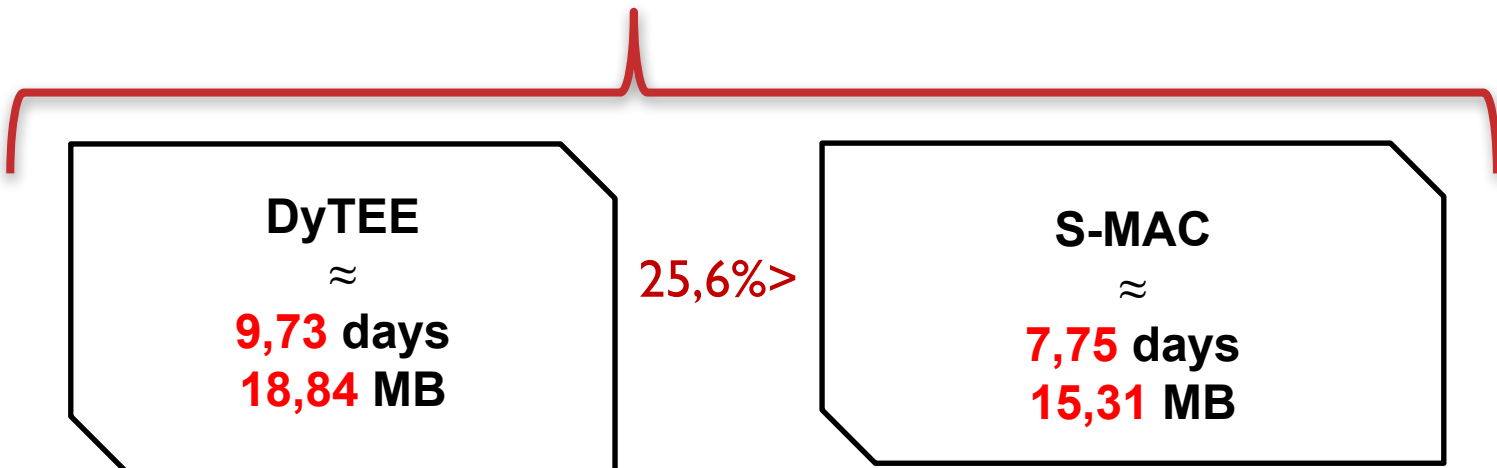
Tempo de vida do módulo

- Considerando a situação:
 - Medição temperatura de uma sala
 - Taxa de aquisição de 5 segundos
 - 8 módulos na sala
 - Processador consumindo 25,5 mW

Tempo de vida e dados transmitidos – Estimativa baseada em resultados:



SHT71 (SENSIRION, 2011), consumes 90 W





Sumário da apresentação

- Introdução
- Objetivos
- Aspectos relevantes, trabalhos relacionados e motivação
- DyTEE
- Metodologia
 - Simulação
 - Escolha da plataforma
 - Obtenção de resultados
- Resultados
 - Simulações, topologia, parâmetros
 - Parâmetros do artigo S-MAC (MICA, topologia linear)
 - Parâmetros Atualizados (Zigbit, topologia estrela)
 - Experimento em módulos reais, topologia e parâmetros:
 - Por contagem de bytes
 - Por medição em multímetro
 - Tempo de vida do módulo
- Conclusão
- Trabalhos futuros



Conclusão

- Melhores resultados do que o S-MAC e IEEE 802.15.4
 - Latência, vazão e principalmente consumo de energia
- Baixa complexidade
 - Implementado em Zigbit (ATZB-24-A2 com ATMEGA 1281)
 - Implementação do DyTEE (33,77 Kbytes) menor do que IEEE 802.15.4 (37,96 Kbytes)
- Longo tempo de vida quanto ao consumo de bateria



Sumário da apresentação

- Introdução
- Objetivos
- Aspectos relevantes, trabalhos relacionados e motivação
- DyTEE
- Metodologia
 - Simulação
 - Escolha da plataforma
 - Obtenção de resultados
- Resultados
 - Simulações, topologia, parâmetros
 - Parâmetros do artigo S-MAC (MICA, topologia linear)
 - Parâmetros Atualizados (Zigbit, topologia estrela)
 - Experimento em módulos reais, topologia e parâmetros:
 - Por contagem de bytes
 - Por medição em multímetro
 - Tempo de vida do módulo
- Conclusão
- Trabalhos futuros



Trabalhos futuros

- Implementar o DyTEE em outras plataformas
- Estudar maior redução de cabeçalho
- Testar em aplicação realmente operante
- Comparar com mais protocolos
- Desenvolver uma integração entre camadas (protocolo multi camada)
- Aprimorar redução em sistemas com baixo congestionamento



Obrigado!

Agradecimentos



Laboratório de Automação e Robótica



Grupo de Pesquisa em Redes Avançadas sem Fio



**Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Sistemas Eletrônicos e de Automação**

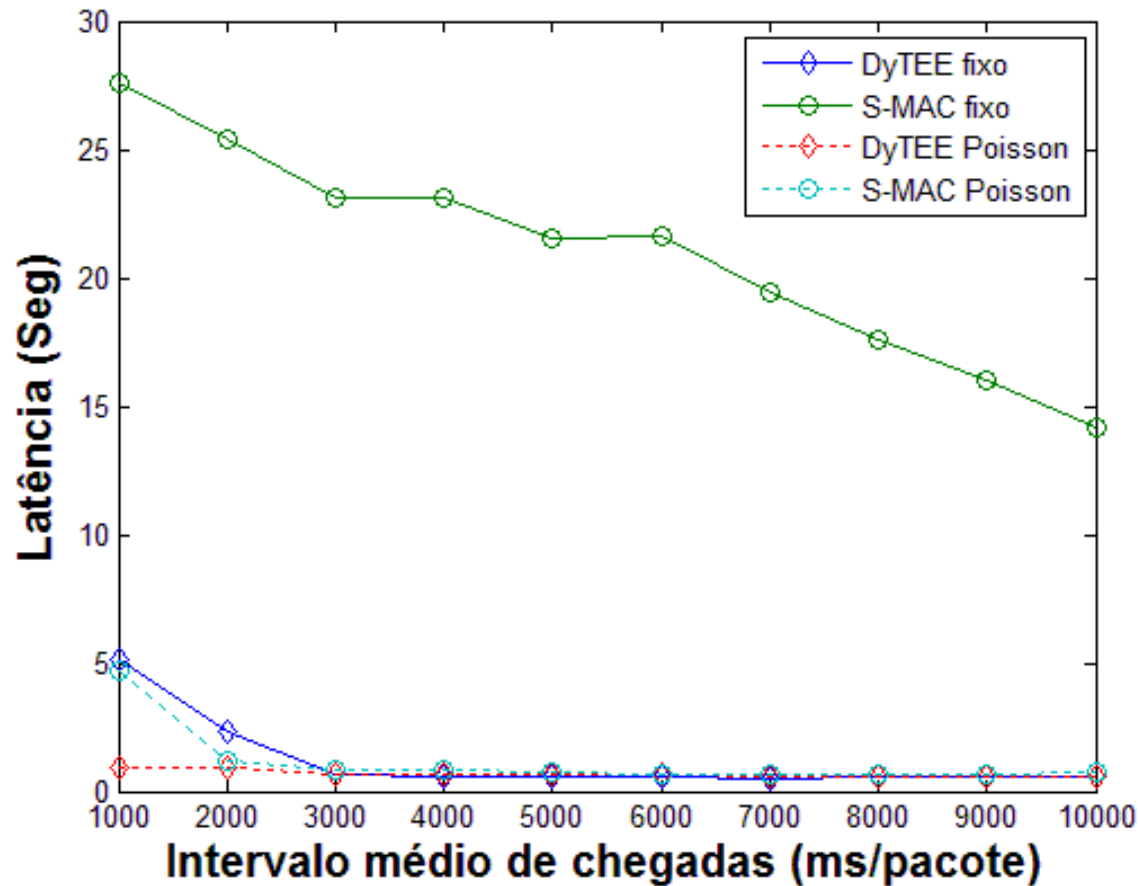


**Coordenação de Aperfeiçoamento de
Pessoal de Nível Superior**



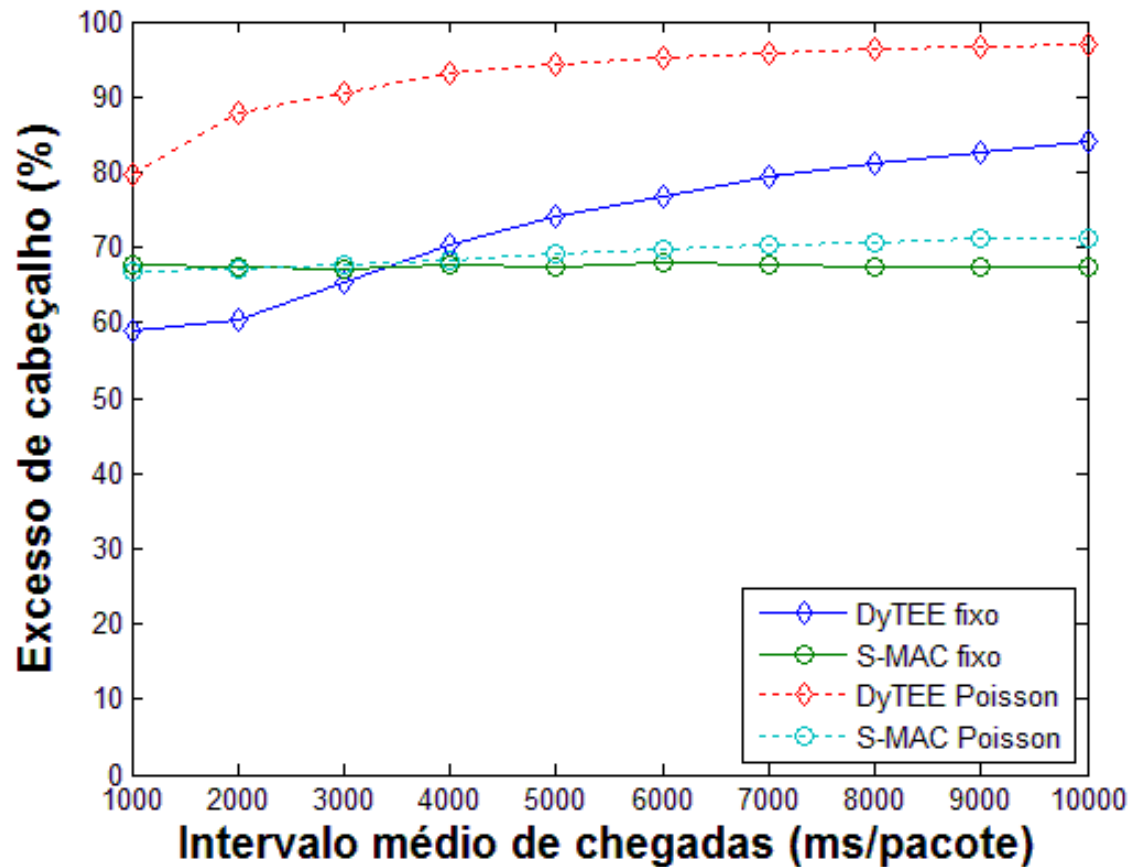
**Conselho Nacional de Desenvolvimento
Científico e Tecnológico**

Simulações – Estrela: Latência



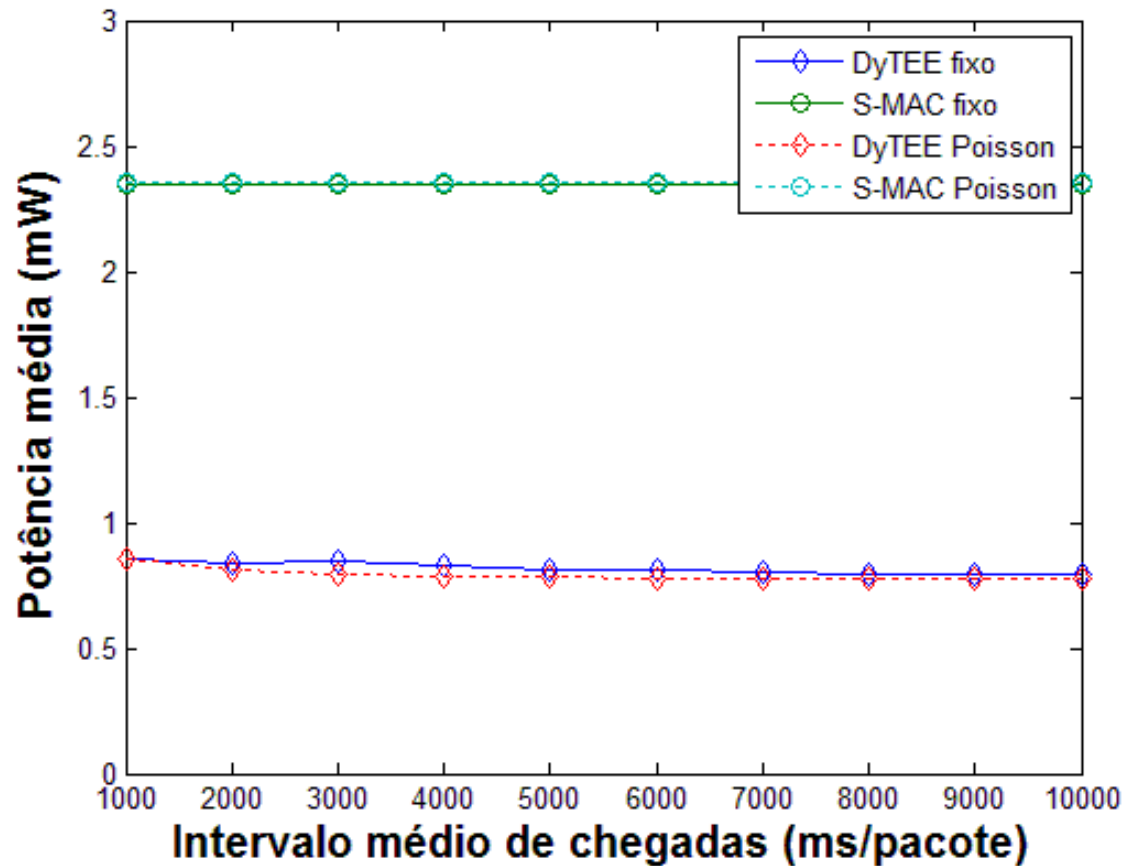
50 mensagens enviadas com 20 Bytes cada

Simulações – Estrela: Excesso de cabeçalho



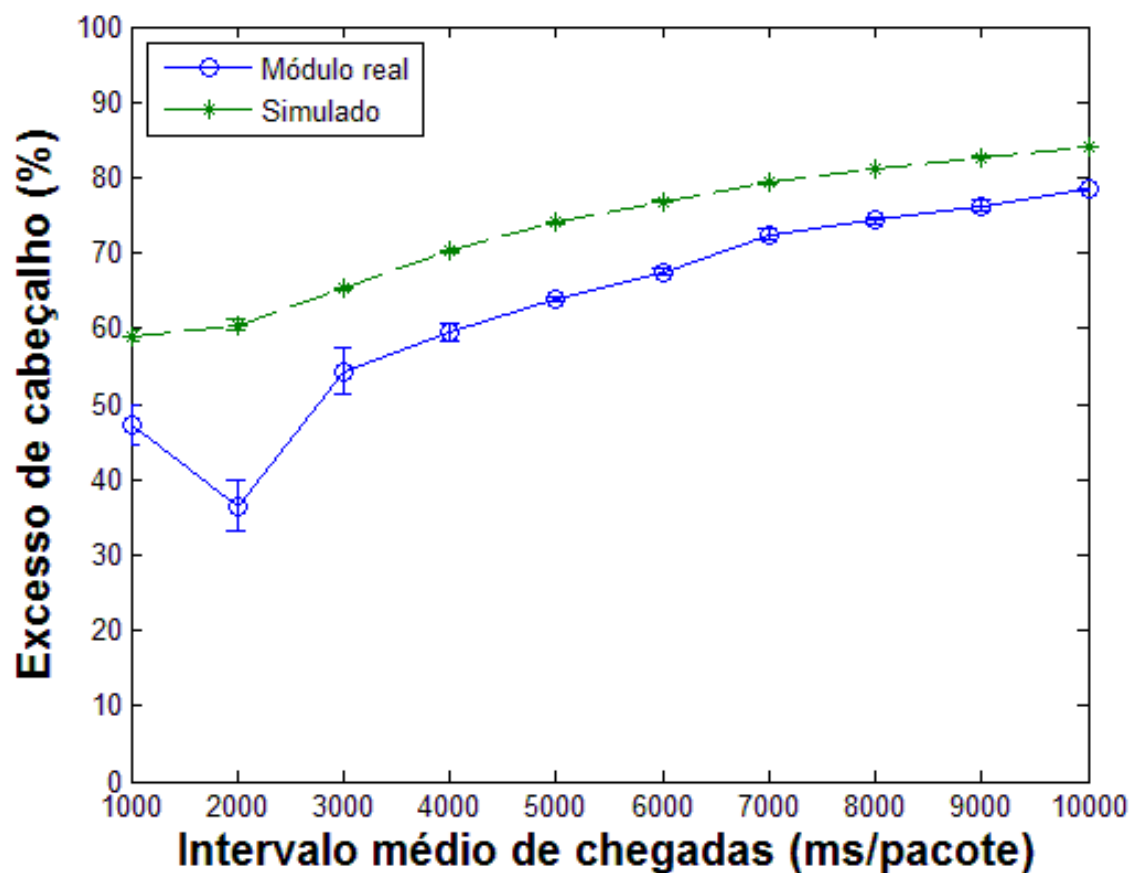
50 mensagens enviadas com 20 Bytes cada

Simulações – Estrela: Potência média consumida



50 mensagens enviadas com 20 Bytes cada

Resultados dos experimentos – Validação: Excesso de cabeçalho



50 mensagens enviadas com 20 Bytes cada

Resultados dos experimentos – Medição por multímetro: IEEE 802.15.4

