

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial

DISSERTAÇÃO
apresentada à UTFPR
para obtenção do título de

MESTRE EM CIÊNCIAS

por

MARISÂNGELA PACHECO BRITTES

**UMA PROPOSTA PARA MELHORIA DE DESEMPENHO
DO PROTOCOLO LEACH PARA RSSF**

Banca Examinadora:

Presidente e Orientador:

Prof. Dr. EMILIO CARLOS GOMES WILLE

UTFPR

Examinadores:

Prof. Dr. MARCELO EDUARDO PELLEZ

PUC-PR

Prof. Dra. ANELISE MUNARETTO FONSECA

UTFPR

Curitiba, 28 de setembro de 2007.

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

MARISÂNGELA PACHECO BRITTES

**UMA PROPOSTA PARA MELHORIA DE DESEMPENHO DO PROTOCOLO
LEACH PARA RSSF**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do título de “Mestre em Ciências” – Área de Concentração: Telemática.

Orientador: Prof. Dr. Emilio Carlos Gomes Wille

Curitiba

2007

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço ao meu Criador que me fez uma criatura capaz de aceitar e superar desafios, com sorriso nos lábios e lágrimas nos olhos.

Aos meus pais, que me deram amor e calor, e à sua maneira, proporcionaram o ambiente para que eu aprendesse desde cedo o sentido da vida e a nunca desistir de lutar pelos meus ideais.

Ao meu orientador, Prof. Emilio, pela confiança depositada em mim ao aceitar me orientar, pela dedicação e todo apoio que me deu, agradeço imensamente pela grande oportunidade de aprendizado e crescimento.

Ao Prof. Marcelo Pellenz, por sua importante colaboração para a realização deste trabalho. Obrigada por me ajudar a pensar como pesquisadora, a levantar questões, ver sempre mais além e por me atender tão prontamente sempre que uma idéia me vinha à mente.

À Prof. Anelise pela sua atenção e ajuda na fase inicial desse trabalho, me auxiliando na busca do estado da arte e pesquisa literária para que pudesse definir o escopo desta dissertação.

Ao meu querido amigo, professor, sócio, colega de trabalho, Paulo Roberto, por me ajudar muito em diversos aspectos durante esse trabalho, em especial com as simulações, sem você esse trabalho teria sido no mínimo impossível, agradeço de coração. Espero poder retribuir da mesma forma.

Minhas amigas divas e colegas de mestrado, Eliane e Rúbia. Dividimos as alegrias e angústias de todas as fases nesses dois anos, e hoje estamos aqui e sabemos que podemos superar qualquer obstáculo, pois quando existe um desejo, existe um caminho.

Meus amigos Clóvis e Tamara, sem vocês as disciplinas seriam impossíveis. Agradeço imensamente toda a ajuda, paciência e amizade que recebi durante o tempo que pensava que não chegaria até aqui.

Minha amiga Isabel agradeço de modo especial, por sua preciosa amizade, incentivo, confiança. Não tenho palavras para expressar o que você significa para mim.

Ao Dronilo, pela insistência em dizer que sou inteligente, por acreditar em mim, até quando eu mesma não acreditava. Pela paciência nos dias de stress, pelo orgulho que sei que sentiu quando eu obtive minhas pequenas vitórias. A vida nos mostra o valor das pessoas, e é só através do tempo que percebemos como somos abençoados por termos pessoas que nos amam tanto ao nosso lado.

À minha pequena Kiara, que encheu minha vida de luz quando pensei estar escura, me trouxe o riso nos momentos de solidão, me agraciou com seu amor puro, com seu carinho gratuito, e assim conquistou meu coração para sempre.

Deborah, Fran, Regis, por me agüentarem, realmente não deve ter sido fácil. Agradeço à todos que de alguma forma contribuíram para que eu esteja aqui agora, agradecendo. Sou uma pessoa sortuda por ter a ajuda de tantas pessoas.

Finalmente, agradeço a minha querida avó que, apesar de não estar mais presente aqui, deixou plantado dentro de mim a semente da coragem, da fé, da confiança. E sei que teria o máximo orgulho de mim, simplesmente pelo fato de me ver feliz ao conquistar essa vitória.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE TABELAS	IX
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	XI
INTRODUÇÃO	1
1.1 AS REDES DE SENSORES	1
1.2 MOTIVAÇÕES	12
1.3 OBJETIVOS	13
1.3.1 Objetivo geral	14
1.3.2 Objetivos específicos.....	14
1.4 CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO.....	15
1.5 DESCRIÇÃO DA DISSERTAÇÃO	15
PROCOLOS DE ROTEAMENTO	17
2.1 REVISÃO DA LITERATURA	17
2.1.1 Roteamento em RSSF	17
2.1.2 Protocolos de Roteamento.....	18
A PROPOSTA LEACH-M	27
3.1 LEACH (<i>LOW-ENERGY ADAPTIVE CLUSTERING HIERARCHY</i>)	27
3.1.1 O algoritmo probabilístico de seleção de <i>cluster heads</i>	29
3.1.2 Algoritmo de formação de <i>clusters</i>	32

3.1.3	A fase <i>steady-state</i>	35
3.2	O ALGORITMO CENTRALIZADO LEACH-C	36
3.3	LEACH-F: <i>CLUSTER</i> FIXO, <i>CLUSTER HEAD</i> ROTATIVO	37
3.4	A PROPOSTA LEACH-M (LEACH MODIFICADO)	40
	VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS	47
4.1	CENÁRIOS E MÉTRICAS.....	47
4.2	SIMULAÇÕES E RESULTADOS	49
4.2.1	Cenário 1	49
4.2.2	Cenários 1 e 4.....	56
4.2.3	Cenários 2 e 3	58
4.2.4	Cenário 5	60
	CONCLUSÃO	64
5.1	REVISÃO DOS OBJETIVOS E DIFICULDADES ENCONTRADAS	64
5.2	DISCUSSÃO	65
5.3	TRABALHOS FUTUROS	67
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Hardware básico do nó sensor.....	3
Figura 2: Fases distintas do ciclo de vida de uma Rede de sensores sem fio.	6
Figura 3: Mensagem percorrendo RSSF em esquema <i>multi-hop</i>	19
Figura 4: Rede de sensores baseada em <i>clusters</i>	23
Figura 5: Formação de <i>clusters</i> durante a fase <i>set-up</i> e transferência de dados durante a fase <i>steady-state</i>	29
Figura 6: Diagrama de blocos descrevendo o funcionamento do algoritmo LEACH. .	34
Figura 7: Linha do tempo do modo de operação do LEACH dentro de cada <i>cluster</i> . As transmissões dos dados são agendadas para evitar colisões e aumentar a quantia de tempo que cada nó comum do <i>cluster</i> pode permanecer em estado <i>sleep</i>	35
Figura 8: <i>Clusters</i> adaptativos que mudam dependendo da localização dos <i>cluster heads</i> , havendo apenas uma interferência mínima entre os <i>clusters</i>	38
Figura 9: Aumentando a dissipação de energia de nós comuns que não são <i>cluster heads</i> , e aumentando a interferência entre os <i>clusters</i>	39
Figura 10: Diagrama de blocos mostrando o funcionamento do algoritmo LEACH-M.	42
Figura 11: Distribuição espacial dos sensores gerada aleatoriamente em uma rede de 200 nós.	49
Figura 12: Acumulado de pacotes de dados entregues à estação base, conforme o desempenho de cada protocolo.	50
Figura 13: Total de pacotes de dados recebidos pela estação base em relação a energia consumida no período, sendo a energia inicial de cada nó 2 (J).....	51

Figura 14: Demonstrativo do tempo de vida da rede, analisando a durabilidade dos nós na rede com a atuação de cada protocolo.....	52
Figura 15: Atraso médio na entrega dos pacotes à estação base, estimado pela razão entre o número médio de pacotes entregues por intervalo de tempo.	53
Figura 16: Acumulado de energia total consumida por cada um dos protocolos, em um cenário com 200 nós, levando-se em conta a durabilidade da carga de energia da rede.	54
Figura 17: Consumo instantâneo de energia demonstrado em intervalos de 10 segundos, com valores médios para toda a rede.	55
Figura 18: Comparação de Throughput entre os protocolos LEACH, LEACH-C e LEACH-M.	56
Figura 19: Transmissão de pacotes dos <i>clusters</i> para a estação base, demonstrando os dois tipos de colisões existentes: inter <i>cluster</i> e intra <i>cluster</i>	62
Figura 20: Transmissão de pacotes em janela de tempo entre o instante 117 e 118 da simulação do protocolo LEACH. Podem-se constatar as colisões em alguns intervalos, durante as 15 transmissões efetuadas no período.	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Caracterização segundo a configuração	7
Tabela 2: Caracterização segundo o sensoriamento	8
Tabela 3: Caracterização segundo a comunicação (primeira parte)	8
Tabela 4: Caracterização segundo a comunicação (segunda parte).....	9
Tabela 5: Caracterização segundo o processamento.....	10
Tabela 6: Número ideal de <i>clusters</i> conforme a média de energia dissipada por <i>round</i>	44
Tabela 7: Tabela demonstrativa das principais características dos protocolos da família LEACH.	45
Tabela 8: Parâmetros básicos utilizados na simulação.	48
Tabela 9: <i>Throughput</i> médio, Variância e Desvio padrão dos protocolos, observados em uma rede de 200 nós.....	55
Tabela 10: Atraso médio, total de pacotes entregues à base e tempo de vida da rede: comparação entre redes de 100 e 200 nós.....	57
Tabela 11: Tabela demonstrativa dos resultados relacionados ao <i>Throughput</i> médio dos protocolos.....	58
Tabela 12: Tabela demonstrativa do atraso médio, total de pacotes entregues à base e tempo de vida da rede.	58
Tabela 13: <i>Throughput</i> médio, variância e desvio padrão de cada protocolo conforme tamanho da área das redes.....	59
Tabela 14: Tabela demonstrativa dos protocolos para uma rede de 100 nós com área de 100m x 100m.	60

Tabela 15: Aplicações e protocolos de roteamento indicados..... 67

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADV	<i>Advertising message</i> (Mensagem de advertência)
AODV	<i>Ad hoc on-demand distance vector</i> (Vetor de distância <i>ad hoc</i> sob demanda)
APTEEN	<i>Adaptive Periodic Threshold-sensitive Energy Efficient Sensor Network Protocol</i> (Protocolo para redes de sensores baseado em limiar sensível adaptativo e periódico para eficiência em energia)
ASCENT	<i>Adaptive Self-Configuring Sensor Network Topologies</i> (Topologias adaptativas e auto configuráveis para redes de sensores)
CBR	<i>Constant bit rate</i> (Taxa constante de bits)
CDMA	<i>Code division multiple access</i> (acesso múltiplo por divisão de código)
CSMA	<i>Carrier-sense multiple access</i> (Múltiplo acesso por sentido da portadora)
DD	<i>Directed Diffusion</i> (Difusão direta)
DoS	<i>Denial of service</i> (Ataque distribuído para sobrecarregar o servidor)
DSDV	<i>Destination-sequenced distance vector</i> (Vetor de distância com destino seqüencial)
DSR	<i>Dynamic source routing</i> (Roteamento por fonte dinâmica)
DSSS	<i>Direct-sequence spread spectrum</i> (Espalhamento de espectro por seqüência direta)
EAR	<i>Eavesdrop-And-Register</i> (escuta e registro)
GEAR	<i>Geographic and Energy Aware Routing</i> (Roteamento geográfico e com consumo consciente de energia)

GPS	<i>Global position system</i> (Sistema de posicionamento global)
ID	Identificador
LCA	<i>Linked cluster algorithm</i> (Algoritmo de <i>cluster</i> ligado)
LEACH	<i>Low-energy adaptive clustering hierarchy</i> (<i>clusters</i> hierárquicos adaptáveis com baixo consumo de energia)
LEACH-C	LEACH <i>Centralized</i> (centralizado)
LEACH-F	LEACH <i>Fixed</i> (fixo)
LEACH-M	LEACH Modificado
MAC	<i>Medium access control</i> (controle de acesso ao meio)
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i> (Instituto de Tecnologia do Massachusetts)
NS-2	<i>Network Simulator</i> (Simulador de redes)
NTDR	<i>Near Term Digital Radio</i>
PEGASIS	<i>Power Efficient Gathering in Sensor Information Systems</i> (Coleta com potência eficiente em sistemas de informação para sensores)
RSSF	Redes de sensores sem fio
SAR	<i>Sequential Assignment Routing</i> (Roteamento por atribuição seqüencial)
SMACS	<i>Self-Organizing Medium Access Control for Sensor Networks</i> (Controle auto organizado de acesso ao meio para redes de sensores)
SPIN	<i>Sensor protocols for information via negotiation</i> (Protocolos para sensores com informação via negociação)
SWAN	<i>Self-Organizing Wireless Adaptive Network</i> (Rede sem fio adaptativa e

auto organizável)

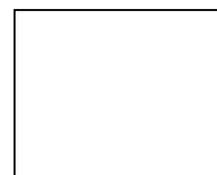
TDMA	<i>Time division multiple access</i> (acesso múltiplo por divisão de tempo)
TEEN	<i>Threshold-sensitive Energy Efficient Sensor Network Protocol</i> (Protocolo para redes de sensores baseado em limiar sensível para eficiência em energia)
uAMPS	<i>Micro-Adaptive Multi-domain Power-aware Sensors</i> (Sensores com capacidade de consciência, micro adaptativos e multi domínio)
VBR	<i>Variable bit rate</i> (Taxa variável de bits)

RESUMO

Um dos fatores mais relevantes para o bom desempenho operacional de uma Rede de Sensores sem Fio (RSSF) é a escolha correta do algoritmo de roteamento, em função das características da rede, da aplicação que se deseja desenvolver e dos objetivos do monitoramento. Existem diversos tipos de abordagens para efetuar o roteamento, dentre as mais conhecidas pode-se citar o roteamento *multi-hop* e algoritmos com formação em *clusters*. O Protocolo LEACH usa uma arquitetura baseada em *clusters* onde os nós membros enviam seus dados para o *cluster-head* local, que agrega os dados de cada sensor e envia esta informação para a estação base. O LEACH usa rotação do *cluster head* para distribuir a carga de energia. Uma vez que os *clusters* são formados, os membros do *cluster* usam a abordagem TDMA para comunicar com o *cluster head*. O LEACH é portátil para redes onde todo nó tem dados para enviar em intervalos regulares. Entretanto, modificações em seu conceito original para melhoria de desempenho sempre podem ser propostas. O objetivo deste trabalho é apresentar uma proposta denominada LEACH-M, onde, através de estudo e análise de desempenho via simulação foram propostas algumas modificações que apresentam melhorias em aspectos como aumento da vida útil da rede, atraso médio da entrega dos dados e *throughput*. Diversas considerações são feitas, levando-se em conta o modelo original do protocolo e as alterações desenvolvidas no decorrer do estudo.

PALAVRAS-CHAVE

Redes de sensores sem fio, Protocolos, Roteamento, Desempenho, Simulação, LEACH.



ABSTRACT

One of the most important features for a good operational performance in a wireless sensor network (WSN) is the right choice for the routing algorithm, regarding the network features, the type of application desired and the objectives of monitoring. There are several types of approaches for doing the routing, which the most known are the multi-hop routing and cluster formation algorithms. The LEACH protocol uses a cluster based architecture, where the fellow nodes send their data to the local cluster head, that aggregates the data from each node and sends this information to the base station. The LEACH uses cluster head rotation for distributing the energy load. Once the clusters are formed, the nodes from each cluster use a TDMA scheme to communicate with the cluster head. The LEACH is portable to networks where all nodes have data to send in regular times. However, changes in its original concept for performance improvement always can be proposed. The objective of this work is presenting a proposal named LEACH-M, which intends, through studies and performance analysis using simulation, proposing some changes that show some improvements in some aspects as increasing the network lifetime, data delivery delay and throughput. Several regards are done, considering the original model of the protocol and the changes developed along the studies.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta os objetivos e a motivação para a realização deste trabalho, assim como uma breve introdução ao conceito de Redes de Sensores Sem fio. São descritas sucintamente as principais características dessas redes, assim como os modelos de aplicação existentes.

1.1 AS REDES DE SENSORES

As RSSFs consistem em um sistema homogêneo ou heterogêneo formado por um conjunto de nós sensores de dimensões reduzidas e/ou atuadores com elementos de computação de propósito geral (KARLOF: 2003). Os nós desta rede são distribuídos em uma certa área geográfica e se comunicam através de um canal sem fio. Além disso, é possível que a topologia em uma RSSF se modifique constantemente, o que caracteriza uma RSSF móvel.

Uma RSSF difere de redes tradicionais em vários aspectos, geralmente têm um grande número de nós que possuem sérias restrições de energia e capacidade limitada de processamento de dados. De um modo geral, essas redes precisam de características de auto-organização, ou seja, a habilidade de se adaptar de forma autônoma às mudanças que possam ocorrer devido às intervenções externas, tais como mudanças na topologia (devido a falhas, mobilidade ou inclusão de um nó na rede), reação a um evento detectado pela rede, ou devido a alguma requisição de usuário ou entidade externa.

O objetivo principal de uma RSSF é coletar dados do ambiente e enviá-los para serem processados e avaliados por uma entidade externa chamada *sink* ou estação-base. Conseqüentemente, a disseminação de dados em torno do *sink* é uma tarefa fundamental e dependendo da aplicação pode ser realizada considerando diferentes modelos (ABU-GHAZALEH: 2002).

Em um monitoramento contínuo, a aplicação recebe constantemente dados coletados do ambiente, sem a necessidade de solicitações externas. No caso de monitoramento orientado a eventos, um nó sensor envia uma notificação quando um evento de interesse acontece. Quando o monitoramento é iniciado pelo observador, este envia uma requisição para a rede, que captura informações e as manda de volta para a fonte da solicitação. Em uma estratégia híbrida, uma RSSF pode também permitir o uso de diferentes tipos de entrega de dados, como em um cenário que envia os dados coletados sempre que o observador a solicita, ou o nó sensor envia imediatamente um relatório sobre determinado evento crítico quando este ocorrer.

Diferentes algoritmos vêm sendo propostos para disseminação dos dados coletados pelos sensores (ESTRIN, et al: 2000), (BALAKRISHNAN, et al: 2000), (GANESAN, et al: 2001), (BALAKRISHNAN, et al: 2002). Entretanto, diferentes aplicações e cenários demandam algoritmos com diferentes características.

Alguns aspectos relevantes que se deve considerar ao se estudar uma RSSF:

- Endereçamento dos nós.
- Agregação dos dados.
- Mobilidade dos nós.
- Restrições dos dados coletados.
- Quantidade de nós.
- Limitação da energia disponível.
- Auto-organização da rede.
- Tarefas colaborativas.
- Capacidade de responder a consultas.

Os elementos em uma rede de sensores sem fio são compostos por uma unidade de processamento, um conjunto de sensores e um canal de comunicação sem fio. A unidade de processamento é responsável por coletar e processar os sinais captados pelos sensores e transmiti-los para a rede de comunicação de dados. O sensor converte grandezas físicas, como temperatura e pressão, entre outros, em sinais elétricos. O canal de comunicação sem fio provê um meio de transferência destes dados dos nós para o mundo exterior ou uma rede de

computadores, e também o mecanismo de comunicação para estabelecimento e manutenção desta rede de sensores que geralmente é uma rede ad hoc, que tem como característica o fato de não possuir infra-estrutura. Os nós que compõe uma rede ad hoc são capazes de se comunicar uns com os outros funcionando eles mesmos como roteadores (HALL, LLINAS: 1997).

Uma característica muito importante dos nós das RSSFs é que as operações realizadas, além de serem analisadas quanto ao uso de memória e processamento dos dados coletados, devem também ser analisadas com relação ao consumo de energia. Redes de sensores sem fio diferem de redes de computadores tradicionais em vários aspectos, principalmente por possuírem um grande número de nós sensores distribuídos com severas restrições de energia, uma vez que, estes nós podem ser colocados, dependendo da aplicação, em lugares remotos o que não permitirá facilmente o acesso para manutenção. Assim, o tempo de vida do nó sensor depende da quantidade de energia disponível. A bateria representa o armazenador de energia do nó sensor, com capacidade limitada. Portanto, qualquer estudo, seja ele hardware, software ou protocolo de comunicação de dados, deve considerar o consumo de energia como o principal requisito.

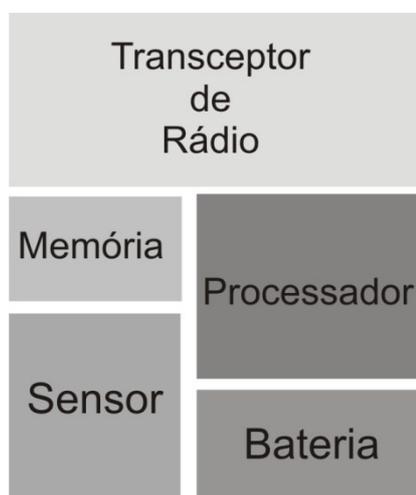


Figura 1: Hardware básico do nó sensor.

Os elementos que compõem o modelo apresentado na figura 1 são (LOUREIRO, et al: 2003)

- Bateria: representa o armazenador de energia do nó sensor, que tem uma capacidade finita e uma taxa de consumo.
- Rádio: representa todo o sistema de comunicação, transmissão e recepção de dados, amplificador e antena. O consumo de energia depende da operação efetuada. Normalmente a transmissão de dados consome mais energia que a sua recepção.
- Processador: representa o elemento de processamento central do nó sensor. O consumo depende da velocidade do relógio (quanto menor a frequência menor o consumo) e do modo de operação. O consumo pode ser medido pelo número de ciclos de relógio para diferentes tarefas como o processamento de sinais, verificação de código de erro, etc. Este modelo é usado em todas as operações que fazem parte do modelo de sensor.
- Sensores: representam os dispositivos de sensoriamento e coleta de informações. O consumo depende do modo de operação e do tipo de grandeza medida.

As RSSF possuem um ciclo de vida com fases distintas, compostos de atividades desenvolvidas em cada uma delas.

O ciclo de uma rede de sensores se inicia com o estabelecimento da rede, quando os nós são dispostos em determinada área geográfica e a rede é formada. Nesta fase, as principais atividades desenvolvidas são:

- Distribuição dos nós;
- Despertar dos nós;
- Verificação das dimensões envolvidas;
- Estudo dos tipos de sensores;
- Área de cobertura e conectividade;
- Organização e topologia da rede.

A fase seguinte compreende a manutenção, que tem como objetivo prolongar o tempo de vida útil da rede, minimizar ações inesperadas e atender aos requisitos da aplicação. A

manutenção pode ser reativa, preventiva, corretiva ou adaptativa. A manutenção é funcional durante toda a vida da rede. As principais tarefas desta fase são:

- Correção das situações de anormalidade provocadas por falhas nos nós;
- Adaptação às condições de energia da rede;
- Chegada de novos nós e / ou nós diferentes, dentre outras.

A terceira fase é a de sensoriamento, onde as atividades estão relacionadas com a percepção do ambiente e a coleta de dados. Conforme o tipo da aplicação e os tipos de sensores envolvidos, esta fase inclui a determinação de distância do objeto de sensoriamento, ruídos do ambiente, tipos de dados coletados, volume de informação envolvida, frequência de amostragem e sobreposição dos nós sensores. Principais tarefas desta fase:

- Determinação do tempo de exposição do alvo de sensoriamento;
- Definição do tipos de dados coletados;
- Determinação da largura de banda e da frequência de atualização.

A próxima fase é de processamento dos dados coletados, que pode ser dividida em processamento de suporte e processamento de informação. As principais atividades nesta fase são: definição dos algoritmos de controle, de compressão, de segurança, de criptografia, codificação e correção de erros.

Finalmente, a fase de comunicação visa identificar os requisitos com relação às tecnologias de acesso e comunicação de dados (HomeRF, Bluetooth, etc), de como estabelecer a topologia da rede e a mobilidade (ou não) dos nós.

De um modo geral, as fases descritas anteriormente pode ser apresentadas conforme a figura 2.

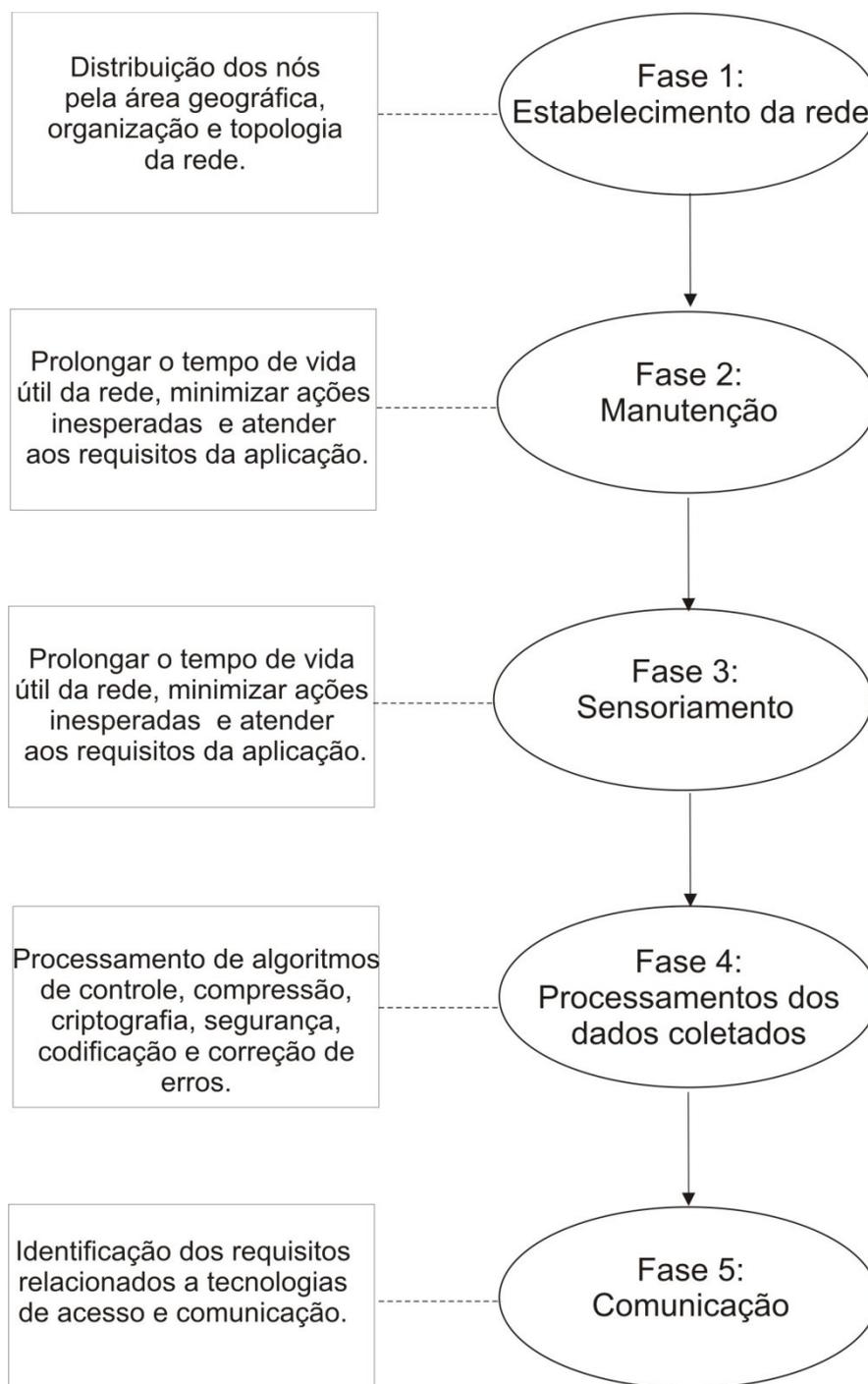


Figura 2: Fases distintas do ciclo de vida de uma Rede de sensores sem fio.

Pode-se classificar uma RSSF conforme os objetivos definidos para sua utilização e a área de aplicação envolvida. A aplicação terá influência direta nas tarefas desempenhadas pelos nós da rede, assim como no tipo de arquitetura dos nós (processador, memória, sensores, fonte de energia e transceptor). Além disso, influenciará também a quantidade de nós da rede, sua distribuição espacial, a definição dos protocolos de comunicação, os tipos de dados transmitidos, os serviços providos pela rede e como consequência no tempo de vida da rede.

De acordo com Ruiz (2003), as RSSFs podem ser classificadas segundo a configuração (ver tabela 1), o sensoriamento (ver tabela 2) e segundo o tipo de comunicação (ver tabelas 3 e 4). Uma RSSF também pode ser diferente segundo o tipo de processamento que executa (ver tabela 5).

Tabela 1: Caracterização segundo a configuração

Classificação segundo a configuração		
Composição	Homogênea	Rede com nós de mesma capacidade de hardware, havendo a possibilidade de ter software diferente.
	Heterogênea	Rede com nós de capacidade de hardware diferente.
Organização	Hierárquica	Rede onde os nós estão organizados em grupos (<i>clusters</i>). Cada grupo possui um líder (<i>cluster-head</i>) que usualmente é eleito pelos nós do <i>cluster</i> , podendo haver hierarquias entre si.
	Plana	Rede onde os nós não estão organizados em <i>clusters</i> .
Mobilidade	Estacionária	Todos os nós sensores permanecem no mesmo lugar onde foram distribuídos durante toda a duração da rede.
	Móvel	Rede onde os nós podem ser deslocados para locais diferentes de onde foram distribuídos.
Densidade	Balanceda	Distribuição e concentração dos nós por unidade de área considerada

		ideal, conforme o objetivo e aplicação da rede.
	Densa	Alta concentração de nós por unidade de área.
	Esparsa	Baixa concentração de nós por unidade de área.
Distribuição	Irregular	Distribuição não uniforme dos nós na área de monitoramento.
	Regular	Distribuição uniforme dos nós na área de monitoramento.

Tabela 2: Caracterização segundo o sensoriamento

Classificação segundo o sensoriamento		
Coleta	Periódica	Os nós sensores realizam a coleta dos dados em intervalos regulares previamente agendados.
	Contínua	Os nós sensores coletam os dados de forma contínua.
	Reativa	Os nós sensores coletam os dados quando ocorrem eventos de interesse ou quando solicitado pelo observador.
	Tempo real	Os nós sensores coletam a maior quantidade de dados possível no menor intervalo de tempo.

Tabela 3: Caracterização segundo a comunicação (primeira parte)

Classificação segundo a comunicação		
Disseminação	Programada	Os nós disseminam os dados em intervalos regulares.
	Continua	Os nós disseminam os dados continuamente.
	Sob demanda	Os nós disseminam os dados em resposta à consulta do observador e à ocorrência de eventos.

Tipo conexão	Simétrica	Todas as conexões existentes entre os nós, com exceção do nó sorvedouro tem o mesmo alcance.
	Assimétrica	As conexões entre os nós comuns têm alcance diferente.
Transmissão	Simplex	Os nós sensores possuem podem apenas transmitir dados.
	Half-duplex	Os nós sensores podem transmitir e receber dados em instantes diferentes.
	Full-duplex	Os nós sensores podem transmitir e receber dados ao mesmo tempo.

Tabela 4: Caracterização segundo a comunicação (segunda parte)

Classificação segundo a comunicação		
Alocação do canal	Estática	Em uma rede com N nós, a banda é dividida em n partes iguais na frequência (FDMA – <i>Frequency division multiple Access</i>), no código (CDMA – <i>Code division multiple Access</i>), no espaço (SDMA – <i>Space Division Multiple Access</i>) ou ortogonal (OFDM – <i>Orthogonal frequency division multiplexing</i>). A cada nó é dada uma parte privada de comunicação, visando minimizar a interferência.
	Dinâmica	Neste tipo de rede não existe atribuição fixa de largura de banda, havendo disputa do canal pelos nós.
Fluxo de informação	<i>Flooding</i>	Os nós fazem broadcast de suas informações para os vizinhos, os quais fazem broadcast para outros até alcançar o ponto sorvedouro. Esse tipo de fluxo provoca um alto <i>overhead</i> mas fica imune à mudanças dinâmicas na rede e à ataques de impedimento de serviço (DoS – <i>Denial of service</i>)

	<i>Multicast</i>	Os nós firmam grupos e usam o <i>multicast</i> para se comunicar entre os membros do grupo.
	<i>Unicast</i>	Os nós sensores podem se comunicar diretamente com o ponto de acesso usando protocolos de roteamento <i>multi-hop</i> .
	<i>Gossiping</i>	Os nós sensores selecionam os nós para os quais enviam dados.
	<i>Bargaining</i>	Os nós enviam dados somente se o nó destino manifestar interesse, havendo um processo de negociação.

Tabela 5: Caracterização segundo o processamento

Classificação segundo o processamento		
Cooperação	Infra-estrutura	Os nós executam procedimentos relacionados à infra-estrutura da rede como algoritmos de controle de acesso ao meio, roteamento, eleição de líderes, descoberta de localização e criptografia.
	Localizada	Os nós executam além dos procedimentos de infra-estrutura, algum tipo de processamento local básico como tradução de dados coletados.
	Correlação	Os nós realizam procedimentos de correlação de dados como fusão, supressão seletiva, contagem, compressão, multi-resolução e agregação.

Como descrito anteriormente, os nós de uma RSSF possuem recursos bastante limitados, tais como pouca capacidade computacional, pouca memória e pouca reserva de energia. O conhecimento sobre a quantidade de energia disponível em cada parte da rede é chamada de mapa de energia e esta informação pode auxiliar a prolongar o tempo de vida da rede (RUIZ: 2002), (RUIZ et al: 2003).

Portanto, aplicações, protocolos e algoritmos para RSSFs não podem ser escolhidos considerando apenas sua capacidade, mas definitivamente a quantidade de energia consumida (RUIZ et al: 2003).

A rede de sensores pode executar a fusão de dados, agregando dados dos sensores de acordo com uma métrica de qualidade especificada pelo usuário final (HALL, LLINAS: 1997). A agregação de dados é um exemplo do uso da idéia de *cluster*. Um nó seria o líder do cluster (*cluster-head*) e poderia sumarizar os objetos localizados em seu *cluster* para prover uma visão menos detalhada para nodos distantes. A fusão de dados pode ser utilizada para combinar tanto dados de sensores do mesmo tipo (que observam a mesma entidade) quanto dados de sensores de tipos diferentes. No primeiro caso, tipicamente as leituras dos sensores são combinadas com o objetivo de eliminar redundâncias e ruídos aumentando a precisão e reduzindo o volume de dados. No segundo caso, o objetivo é aumentar a resolução do dado gerando um novo dado mais representativo e de maior resolução.

Pela natureza dinâmica, essas redes devem ter a capacidade de se ajustar a possíveis alterações sem interferência humana, o que é chamado de auto-organização (SOHRABI, et al: 2000), (LOUREIRO, et al: 2002). O problema da auto-organização de uma RSSF poderia ser facilmente resolvido com uma visão geral de toda a rede.

Facilmente poderiam ser calculados os grupos de nós que têm que se comunicar, as rotas mais eficientes para a transmissão dos dados ou que sensores podem ser desligados em determinados instantes para que haja economia de energia e a rede tenha maior sobrevida e se mantenha a cobertura desejada. Porém, muitas aplicações dessas redes exigem que elas sejam auto-suficientes, ou seja, funcionem sem intervenção humana. Essencialmente, a auto-organização de RSSFs é a sua habilidade de realizar mudanças estruturais sem intervenção humana, de forma a torná-las escaláveis e robustas diante das características dinâmicas inerentes a esse tipo de rede (LOUREIRO, et al: 2002).

Algumas propostas de protocolos para a auto-organização de RSSF (RUIZ, et al: 2003), (SOHRABI, et al: 2000) são:

- SMACS – *Self-Organizing Medium Access Control for Sensor Networks*.
- EAR – *Eavesdrop-And-Register*.

- SAR – *Sequential Assignment Routing*.
- ASCENT – *Adaptive Self-Configuring Sensor Network Topologies*.

O roteamento de dados em redes de sensores difere bastante das redes tradicionais. Em muitos sistemas distribuídos assume-se que cada nó tem um único endereço de rede. Estes endereços aparecem em todos os pacotes para identificar a fonte e o destino. Os endereços nos sistemas tradicionais podem ser usados como identificação para especificar uma comunicação com outro ponto da rede e também para fornecer informação topológica que pode ser usada no roteamento. Uma proposta para as RSSFs é a nomeação dos dados no lugar de se nomear os nós como é usual na Internet. Uma das propostas de nomeação utiliza coordenadas espaciais para nomear dados, isto porque os dados dos sensores são intrinsecamente associados com o contexto físico onde o fenômeno ocorre (SOHRABI, et al: 2000). Outra proposta de roteamento em redes de sensores baseia-se no conceito de *clusters* e na eleição de líderes para transmissão de dados dos nós de cada *cluster* para seu líder, e do líder para a estação base (HEINZELMAN, et al: 2000)

1.2 MOTIVAÇÕES

O protocolo LEACH foi desenvolvido junto ao MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) como parte do projeto uAMPS (*Micro-Adaptive Multi-domain Power-aware Sensors*), uma iniciativa com o objetivo de desenvolver soluções com garantia de escalabilidade e baixo consumo de energia para diversos tipos de aplicações em redes de sensores sem fio.

O protocolo LEACH foi escolhido como base para realização de análises e simulações por ser um trabalho sério, com reconhecimento internacional, sendo um dos primeiros trabalhos publicados em RSSFs baseados em *clusters*.

O LEACH é um protocolo eficiente em energia para redes de sensores projetadas com mecanismo de envio de dados contínuo e sem mobilidade (HEINZELMAN, et al: 2000), tendo como objetivo reduzir o consumo de energia e é apropriado para redes pró-ativas.

O protocolo foi desenvolvido para redes homogêneas e utiliza ciclos durante os quais são formados *clusters* onde um nó é escolhido como base local (*cluster-head*), e onde cada nó decide qual será sua base local, visando o menor custo de comunicação.

O LEACH usa rotação da base local para distribuir carga de energia. Uma vez que os *clusters* são formados, os membros do *cluster* usam TDMA para se comunicarem com a base local.

A base local é responsável por repassar os dados do seu *cluster* para a estação base com um único salto, o que limita o tamanho da rede em função do alcance de seu raio. Entretanto, o LEACH é portátil para redes onde todo nó tem dados para enviar em intervalos regulares, entre outras palavras a coleta de dados é feita periodicamente. Esta coleta é centralizada nas bases locais.

Além do protocolo LEACH, dentro do projeto uAMPS foi implementada uma extensão para o simulador NS-2 viabilizando os testes e simulações de redes de sensores sem fio utilizando o pacote do protocolo e suas variantes LEACH-C e LEACH-F.

1.3 OBJETIVOS

Na última década, houve um grande avanço tecnológico nas áreas de sensores, circuitos integrados e comunicação sem fio, levando ao desenvolvimento de Redes de Sensores Sem Fio (RSSF). Este tipo de rede pode ser aplicado no monitoramento, rastreamento, coordenação e processamento em diferentes contextos. Pode-se interconectar sensores para fazer o monitoramento e controle das condições ambientais numa floresta, oceano ou numa cidade. Desta forma, é possível fazer uso de conceitos de Sistemas Distribuídos na gestão e operacionalização desta rede. A interconexão de sensores através de redes sem fio, com a finalidade de executar uma tarefa de sensoriamento maior, poderá revolucionar a coleta e processamento de informações (AKYILDIZ, et al: 2002).

As RSSFs têm um grande potencial econômico, prometem transformar o cotidiano das pessoas e colocam muitos desafios no desenvolvimento de sistemas. A partir do momento em que o hardware se tornar mais acessível economicamente, essas redes poderão se tornar

populares. Porém, o consumo de energia deve ser ainda um ponto fundamental. Muitas características das redes de sensores, tais como auto-organização, mecanismos de roteamento, coleta e transmissão de dados, agregação dos dados, topologia dinâmica, arquitetura da aplicação, mecanismos de segurança e transmissão dos dados são alguns dos desafios em relação aos sistemas distribuídos tradicionais, mas também representam novas oportunidades de pesquisa.

O desafio de estudar as necessidades e características dos mecanismos de roteamento é a principal motivação para desenvolver esse trabalho, assim como a possibilidade de propor modificações que possam contribuir para a melhoria operacional dos protocolos, e para o desenvolvimento de trabalhos futuros nessa área de pesquisa tão promissora.

1.3.1 Objetivo geral

Estudar mecanismos de roteamento em redes de sensores sem fio, com ênfase em protocolos baseados em *clusters*, através de simulações realizadas com o protocolo LEACH (*Low-energy adaptive clustering hierarchy*) e suas variantes LEACH-C (LEACH Centralizado) e LEACH-F (LEACH Fixo), realizando avaliação de desempenho e propondo modificações para gerar melhorias.

1.3.2 Objetivos específicos

- Avaliar as características e necessidades das redes de sensores sem fio e os protocolos de roteamento disponíveis.
- Estudar a família de protocolos de roteamento LEACH e realizar simulações no simulador de redes Network Simulator (NS-2), realizando as adaptações necessárias nos módulos e códigos da simulação.
- Propor modificações que possam melhorar o desempenho do protocolo no que diz respeito à economia do consumo de energia e aumento de vida útil da rede, atraso médio e *throughput*, avaliando cada situação e necessidade específica.

1.4 CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO

Sabe-se que a configuração de uma rede de sensores sem fio depende do tipo de aplicação em questão. A especificação dos componentes da rede, protocolos de comunicação e distribuição dos nós sensores está diretamente relacionada com a necessidade obtenção dos dados de monitoramento.

Assim sendo, a proposta desse trabalho é realizar diversas simulações com o protocolo LEACH em diversas situações, considerando sempre o consumo de energia, a taxa de entrega dos dados e o tempo de vida da rede.

Por meio dos resultados, serão propostas modificações em certos aspectos do protocolo dando-se origem à uma variante denominada LEACH-M (LEACH Modificado).

Com isso pretende-se melhorar o desempenho do protocolo e discutir os melhores aspectos dos algoritmos de roteamento, levando-se em consideração o tipo de aplicação e as necessidades de monitoramento.

1.5 DESCRIÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação encontra-se organizada da seguinte maneira:

Capítulo 2 – Protocolos de Roteamento

Neste capítulo é apresentada a revisão bibliográfica dos protocolos de roteamento para redes de sensores sem fio e os princípios básicos adotados para a escolha do tipo de protocolo, sempre levando em consideração a aplicação da rede.

Capítulo 3 – LEACH-M (LEACH modificado)

No capítulo 3 são apresentados os protocolos LEACH, LEACH-C e LEACH-F, assim como a nova proposta LEACH-M. São propostas algumas modificações conceituais,

tomando-se como base o próprio trabalho original do protocolo, e são realizadas pequenas alterações no algoritmo visando obter ganho de desempenho em determinadas situações.

Capítulo 4 – Validação das simulações

Neste capítulo são apresentados os resultados das simulações realizadas ao longo deste trabalho, através do Simulador *Network Simulator* (NS-2), que é um simulador orientado a eventos e bastante utilizado no ambiente acadêmico, para simulações de redes com fio e sem fio. São analisadas diversas simulações em vários cenários, para os protocolos LEACH, LEACH-C e LEACH-M. A proposta de modificação do algoritmo do LEACH é validada via simulação, e diversas comparações de desempenho são feitas.

Capítulo 5 – Conclusão

O último capítulo apresenta uma sucinta revisão dos objetivos iniciais propostos no trabalho, e os resultados gerais obtidos no decorrer das atividades desenvolvidas. A problemática do roteamento em redes de sensores sem fio é discutida, e são propostas algumas soluções considerando-se os cenários e aplicações envolvidos. Também são discutidas as dificuldades encontradas no decorrer do trabalho. São propostos alguns trabalhos para serem desenvolvidos futuramente, de forma a estender o trabalho desenvolvido para esta dissertação, e que se possa contribuir ainda mais para o avanço de pesquisas em redes de sensores sem fio.

CAPÍTULO 2

PROTOCOLOS DE ROTEAMENTO

Neste capítulo serão apresentados os protocolos de roteamento mais relevantes citados na literatura, assim como suas características e modos de operação. Em seguida, serão descritas duas categorias de RSSFs conforme o tipo de roteamento: baseadas e *clusters* e *multihop*.

2.1 REVISÃO DA LITERATURA

2.1.1 Roteamento em RSSF

Uma RSSF é um tipo muito especial de rede, pois cada uma tem sua particularidade, em função do tipo da aplicação e de seus objetivos. Assim sendo, os requisitos de um protocolo de roteamento diferem de acordo com as características de cada rede. Algumas têm necessidade de monitoramento e transferência constante de dados, outras podem obter os dados com um maior intervalo de tempo, e existem ainda as que somente obtêm dados quando solicitados pelo usuário observador junto à estação base.

Dependendo das características e objetivos das redes, é possível empregar técnicas específicas de roteamento considerando-se as limitações da RSSF visando-se minimizar problemas potenciais que podem ocorrer durante a coleta e transmissão dos dados.

As principais características a serem observadas em uma RSSF e que influenciam diretamente na escolha dos protocolos de roteamento são:

- Recursos limitados: A quantidade de energia e de processamento de uma RSSF é limitada e seu alcance de transmissão é limitado.
- Topologia dinâmica: Os protocolos devem considerar a mobilidade dos sensores. Pode haver falha de nós e para isso os protocolos devem considerar redundância de informações para garantir o bom funcionamento da rede. Os

sensores podem ficar inativos em períodos de baixa atividade a fim de economizar energia.

- Tempo de vida da rede: O tempo de vida da RSSF deve ser o maior possível para minimizar o custo de manutenção da rede. Deve ser considerado também o problema de existirem áreas isoladas, devido à ausência de nós para alcançar determinada região.

Levando-se em consideração todas essas características, e analisando as necessidades de cada aplicação, de um modo geral, os protocolos de roteamento tem como objetivos principais:

- Minimizar o consumo de energia;
- Maximizar o tempo de vida útil dos nós e da rede como um todo;
- Ser tolerante a falhas;
- Garantir eficiência na comunicação;
- Garantir eficiência na disseminação de dados.

2.1.2 Protocolos de Roteamento

As RSSFs vêm sendo objeto de estudo nos meios acadêmicos e existem diversas pesquisas abordando todos os aspectos tais como protocolos de rede, melhorias em hardware e software de gerenciamento das redes. Uma área que vêm sendo amplamente pesquisada é o roteamento em RSSFs, e muitos trabalhos vêm sendo desenvolvidos com o objetivo de melhorar seu desempenho.

Existem diversos protocolos de roteamento com características específicas para cada tipo de aplicação. Alguns centrados em dados, onde o envio das informações ocorre sempre que há algum dado novo no objeto monitorado, outros enviam informações ao observador ou estação base conforme um tempo de envio pré-agendado.

Conforme as necessidades das RSSF, pode-se classificar os protocolos de roteamento em duas categorias: Protocolos *multi-hop* (múltiplos saltos), e Protocolos baseados em *Clusters* (baseados em células).

2.1.2.1 Protocolos *multi-hop*

Quando se utiliza a abordagem *multi hop* os pacotes são enviados de um nó para outro em saltos, até chegarem à estação base ou ao *sink*.

A comunicação entre a rede de sensores e outras redes ocorre através de nós chamados *gateways*. Mensagens percorrem a rede de sensores até chegar a um *gateway* que irá encaminhá-las, por uma rede como a Internet, até um computador onde é executada a aplicação, conforme ilustrado na figura 3:

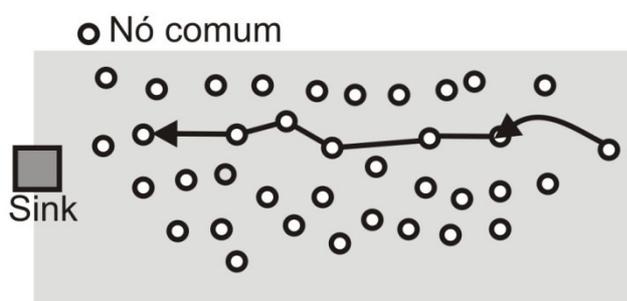


Figura 3: Mensagem percorrendo RSSF em esquema *multi-hop*.

Protocolos de roteamento para redes cabeadas classificam-se em duas categorias: roteamento baseado em Vetor de Distância e em Estado de enlace. (HUITEMA, 1996).

Vetor de Distância envia os pacotes na direção genérica de seu destino, enquanto protocolos em estado de enlace mantêm uma tabela completa contendo os caminhos (vias) de cada roteador, e são capazes de fornecer instruções específicas de roteamento. Protocolos em Estado do enlace também utilizam algoritmos para encontrar o menor caminho (algoritmo de Dijkstra), a fim de encontrar a melhor rota para determinado destino.

Essas abordagens de roteamento foram incorporadas nas redes sem fio com poucas modificações, resultando em alguns protocolos desenvolvidos com características semelhantes: DSDV (*destination-sequenced distance vector*), (BHAGWAT et al:1994) e AODV (*ad hoc on-demand distance vector*), (PERKINS, et al:1999).

Entretanto, existem problemas com o uso desse tipo de abordagem em redes sem fio. O tráfego de mensagens e a manutenção de rotas válidas não somente congestionam a rede, como também consomem muita energia (limitada) das baterias. O DSR (*Dynamic source routing*) resolve esses problemas ao criar rotas apenas conforme a demanda (BROCH et al: 1998). Isso minimiza o *overhead* que ocorre ao criar rotas, e o custo da latência em encontrar uma rota quando é preciso

Muitos trabalhos vêm sendo desenvolvidos no sentido de minimizar a energia gasta pelos protocolos de roteamento, e ao mesmo tempo tentar aumentar ao máximo o tempo de vida dos dispositivos da rede.

Na tentativa de resolver problemas de falta de confiabilidade de sensores individuais, Ganesan *et al* (2001) propuseram algoritmos de roteamento de redes de sensores sobre rotas múltiplas. Eles consideram a construção de rotas múltiplas para permitir a recuperação de falhas pela rota mais curta entre um nó fonte e um destino.

Scaglione e Servetto (2002) estudaram o problema de roteamento na presença de diferentes tipos de dinâmicas: (i) nós que não se movem, mas que alternam entre estados ativos e (ii) nós inativos em tempos aleatórios. Eles estudaram o comportamento dos sensores com energia renovável, tais como células solares ou ambientes vibratórios. O problema de roteamento correspondente foi formalizado como um problema de construção para caminhos aleatórios em grafos dinâmicos aleatórios com restrições.

Os caminhos aleatórios devem ser projetados de forma que sua distribuição invariante resultante alcance uma certa propriedade de balanceamento de carga. Foram propostos algoritmos distribuídos simples para computar os parâmetros locais para os caminhos aleatórios que alcancem o comportamento desejado. Estes algoritmos são capazes de rotear mensagens por todas as rotas possíveis entre um nó fonte e um destino, sem desempenhar computações de descoberta/reparo de rotas explícitas e sem manter o estado da informação explícito sobre rotas disponíveis dos nós.

Scaglione e Servetto (2002) realizaram um trabalho sobre roteamento em redes de sensores *multihop*. Eles consideraram um problema de *broadcast* de comunicação numa rede de sensores *multihop* em que instâncias de dados de um campo aleatório são coletadas de cada

nó da rede e o objetivo é obter para todos os nós uma estimativa do campo inteiro dentro de um valor de distorção prescrito. A idéia principal do trabalho é juntar a compressão de dados, gerados por diferentes nós, com a informação de viagem sobre os múltiplos *hops* para eliminar a correlação do campo.

Em (MENG: 1998) é apresentada uma estratégia de escolha de rotas *multi-hops* para minimizar a energia dissipada pelos nós através da rota. Nesse tipo de abordagem, um nó intermediário é usado como um *hop* se e somente se isso minimiza o consumo total de energia se comparado a quando não se usa essa estratégia.

Outra idéia similar foi apresentada por (BAMBOS: 1996), onde os autores notaram que transmissões entre vizinhos causam interferência, causando perda de desempenho da rede. Assim sendo, a escolha das rotas é feita para minimizar a dissipação de energia baseando-se em critérios de interferência mínima entre os nós.

Outro protocolo de roteamento denominado SWAN (*Self-Organizing Wireless Adaptive Network*), (BAMBOS:1995), utiliza gerenciamento de topologia dinâmica, através do qual a rede morre gradualmente, ao invés de ter a rede periodicamente quebrada e reconstruída diversas vezes. Isso permite ao usuário receber os dados com menos atraso e sofrer menos interrupções devido às funções de recuperação.

No PEGASIS (*Power Efficient Gathering in Sensor Information Systems*), (LINDSEY, RAGHAVENDRA, 2001), cada nó se comunica apenas com seu vizinho próximo. É formada uma cadeia de nós para a transmissão da mensagem até o sorvedouro e todos os nós processam a agregação de dados, exceto o último. Apenas um nó por rodada transmite à estação base.

Na topologia plana, uma das técnicas mais antigas de transmissão de dados é o *flooding*, inundação, que pode ser utilizada em RSSF. Cada nó retransmite as mensagens que não são destinadas a ele ou que atingiram o número de saltos estabelecidos. Na inundação, não é necessária a descoberta prévia de rotas, sendo uma técnica reativa. No entanto a utilização dos recursos de energia disponíveis na rede não é eficiente. Existem também os problemas de colisão de mensagens. A variação desse protocolo é denominada *gossiping* (AKYILDIZ, et al: 2002). No *gossiping*, o nó que recebe a mensagem seleciona um de seus

vizinhos aleatoriamente para re-enviar os dados. Dessa forma é feita a transmissão de dados. Como só existe uma cópia da mensagem em cada nó, essa técnica evita a implosão. Entretanto, o tempo para a propagação da mensagem pode ser longo demais.

O SPIN (*Sensor protocolos for information via negotiation*), (HEINZELMAN *et al*: 1999), é um protocolo de roteamento de topologia plana, que usa informações sobre o nível de energia disponível em cada nó para fazer o roteamento dos dados. Ele usa protocolos de negociação para disseminar as informações de um nó sensor para todos os nós sensores da rede. No SPIN quando um nó percebe que seu nível de energia está perto de um limiar pré-estabelecido, ele participa menos das transmissões de dados.

O *Directed Diffusion (DD)* é um protocolo centrado em dados de topologia plana, onde os nós não são endereçados por seus endereços na rede, mas sim pelos dados que monitoram (ESTRIN *et al*:2000). Os dados são nomeados por pares de atributo-valor. No *Directed Diffusion* o interesse é expresso pelos nós observadores em termos de uma consulta que se difunde pela rede usando interações locais. Uma vez que um nó sensor que satisfaz a consulta (nó fonte) é alcançado, aquele nó começa a transmitir dados para o nó sorvedouro, novamente usando interações locais.

A ausência de noção de um identificador global (por exemplo, um endereço IP) torna a difusão orientada eficiente para redes com mobilidade. O protocolo *DD* é aplicável para redes orientadas a eventos e orientadas a consulta. As interações localizadas permitem ao protocolo ser escalável para redes grandes. O protocolo *DD* escala como uma função do número de interesses ativos presentes na rede.

Recentemente, pode-se ver vários trabalhos de protocolos de roteamento para RSSFs baseados em “*power-aware*”, visando o baixo consumo de energia pelos nós e o aumento do tempo de vida da rede (RAGHAVENDRA *et al* :1998), (PARK :1999), (LIN: 1998).

Nesses protocolos, as rotas ótimas são escolhidas baseadas na energia de cada nó ao longo da rota. Rotas que são mais longas mas usam nós com mais energia tem preferência, ao invés de rotas mais curtas com nós com menos energia. Isso ajuda a evitar *hot spots* (pontos com maior concentração de nós com maior nível de energia) na rede, onde um nó é freqüentemente usado para rotear outros nós, ajudando a distribuir a dissipação da rede.

2.1.2.2 Protocolos baseados em *clusters*

Outro método de roteamento é utilizar o conceito de *clusters*, semelhante à abordagem da rede de telefonia celular. Nessa abordagem, os nós enviam os seus dados para um *cluster head* central que encaminha os pacotes para o destinatário final. Esse modelo pode ser observado na figura 4.



Figura 4: Rede de sensores baseada em *clusters*

Com os *clusters* pode-se reutilizar o espectro de frequência incrementando a capacidade do sistema. Com o uso de *clusters* é possível ter melhor alocação de recursos além de melhorar a capacidade de controle da energia gasta. (GERLA, et al: 1999). Além disso, a estrutura hierárquica obtida com o uso dos *clusters* pode ajudar a superar muitos dos problemas referentes à mobilidade dos nós.

Enquanto redes celulares convencionais contam com infra-estrutura fixa (GARG, et al: 1996), (LEVESQUE, et al: 1995), novas pesquisas tem foco em meios de preparar arquiteturas de *clusters* para redes *ad hoc*, sem a assistência de uma infra-estrutura fixa (MCDONALD, et al: 1999).

Um dos primeiros trabalhos desenvolvidos baseados em *clusters* foi uma arquitetura de *clusters* ligados, que utilizava um algoritmo LCA (*Linked cluster algorithm*). Nessa arquitetura, os nós são designados para serem nós comuns, *cluster heads*, ou *gateways* entre

clusters diferentes (BAKER: 1984). O *cluster head* age como um centro de controle local, enquanto os *gateways* agem como o *backbone* da rede, transportando os dados entre os *clusters*. Isso permite o funcionamento de uma rede robusta, com conectividade de ponto-a-ponto.

De forma similar, o protocolo NTDR (*Near Term Digital Radio*), (GRISWALD *et al* 1997) usa uma abordagem de *clusters* usando um algoritmo de roteamento com duas camadas hierárquicas. Os nós formam *clusters* locais e os dados de cada *cluster* são enviados diretamente de um nó para outro, enquanto os dados de fora do *cluster* são roteados através dos *cluster heads*. Esse modelo permite incrementar a capacidade do sistema e reduzir a interferência. Em redes NTDR os *cluster heads* mudam como nós móveis visando manter a rede inteira conectada. Esse protocolo, desenvolvido para ser usado por redes sem fio, permite a conectividade ponto-a-ponto.

Lin *et al.* (1998) desenvolveram uma formação de *clusters* completa usando um algoritmo onde não existem *cluster heads* fixos no *cluster*. Isso tem como vantagem a possibilidade de poder evitar *hot spots* na rede. A distribuição de *clusters* usa um algoritmo de nó com menor identificador, onde a posição de *cluster head* é indicada ao nó com o menor Id da vizinhança. O algoritmo é executado para manutenção do *cluster*, assegurando conectividade entre todos os nós mesmo havendo mobilidade da rede; e uma combinação de esquemas TDMA/CDMA é usada para assegurar interferências mínimas dentro e fora de cada *cluster*.

No roteamento geográfico, o GEAR (*Geographic and Energy Aware Routing*), (YU, *et al.*, 2001), é um protocolo de roteamento que utiliza uma heurística para a seleção de vizinhos baseada na energia e na posição geográfica dos nós. O algoritmo divide a área geográfica em regiões retangulares. Cada nó tem um custo associado a cada região da rede. O processo de encaminhamento de um pacote para um nó alvo compreende dois passos. Primeiramente é feito o encaminhamento do pacote até a região. Se o nó atual não está na mesma região que é o alvo, ele seleciona o próximo nó dentre seus vizinhos que possui o menor custo até a região alvo. Quando o nó possuidor do pacote está na mesma região do alvo, é feito um *flooding* (inundação) restritivo, dentro da região.

O controle da potência pode ser usado para ajustar dinamicamente o tamanho dos *clusters* (GERLA, KWON :1999). Se um enlace aberto de controle de potencia é usado, o *cluster head* envia um sinal, e os nós que ouvem o sinal se juntam ao *cluster*. Se existem muitos nós no *cluster*, o *cluster head* pode reduzir o sinal fazendo com que menos nós possam ouvi-lo. Por outro lado, se o *cluster* é muito pequeno, o *cluster head* pode aumentar a força do sinal visando aumentar o número de membros do *cluster*. Novos clusters podem ser formados quando um *cluster head* diminui o número de membros de seu *cluster*, e *clusters* podem ser absorvidos por *clusters* que estão aumentando, visando sempre manter a total conexão da rede.

McDonald e Znati (1999) desenvolveram um algoritmo de formação de *clusters* que permite um bom roteamento, através do cálculo da probabilidade mais alta de caminho disponível, o qual também suporta mobilidade dos nós. O algoritmo cria *clusters* e usando o cálculo da probabilidade de determinada rota estar disponível, e verifica a disponibilidade das rotas em intervalos de tempo pré-determinados. Isso permite que os algoritmo se adapte à mobilidade dos nós, criando rotas otimizadas em função da mobilidade especialmente quando a mobilidade é mais baixa.

O modelo *publish/subscribe* foi proposto para redes móveis por Huang e Garcia-Molina (GARCIA-MOLINA: 2001). Neste modelo a comunicação é tipicamente anônima, inerentemente assíncrona e *multicast* por natureza. Do ponto de vista da aplicação, o modelo *publish/subscribe* captura o relacionamento entre o observador e o fenômeno para algumas aplicações. Neste modelo a comunicação não é fim a fim, mas anônima com formação de grupo *multicast* específico da aplicação. Em relação à implementação, a comunicação assíncrona ajuda a preservar energia e aumentar a vida útil da rede.

Em (HEINZELMAN: 2000), foi proposto outro paradigma para construção de algoritmos distribuídos, o LEACH (*Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy*). O protocolo LEACH tem por objetivo reduzir o consumo de energia. O protocolo foi desenvolvido para redes hierárquicas e utiliza ciclos durante os quais são formados agrupamentos de nós, denominados *clusters*, onde um nó é escolhido como líder. O líder do *cluster* é responsável por repassar os dados do seu *cluster* para a estação base com um único *hop*, o que limita o tamanho da rede em função do raio de alcance do rádio.

No Protocolo TEEN (*Threshold-sensitive Energy Efficient Sensor Network Protocol*), (AGRAWAL, MANJESHWAR, 2001) o *Cluster head* envia através de *broadcast* um limiar forte e um fraco para os nós do seu *cluster*. O limiar forte significa que deve-se diminuir o número de transmissões, e que os nós devem apenas transmitir quando haver um atributo de sensoriamento na área de interesse.

O limiar fraco reduz o número de transmissões, eliminando todas as transmissões onde não há alteração nenhuma ou apenas uma pequena alteração no objeto sensoriado, e que seriam desnecessárias. O limiar fraco pode ser variado, dependendo do nível crítico do atributo sensoriado e das configurações da aplicação.

O APTEEN (*Adaptive Periodic Threshold-sensitive Energy Efficient Sensor Network Protocol*), (AGRAWAL, MANJESHWAR, 2002) é um protocolo híbrido que muda os valores de periodicidade e limiares utilizados em TEEN, de acordo com as necessidades do usuário e da aplicação. Em APTEEN, o *cluster head* faz um *broadcast* de atributos de parâmetros físicos importantes para o usuário, APTEEN envia periodicamente dados dando ao usuário um panorama completo da rede. O APTEEN também reage imediatamente à mudanças drásticas em situações de tempo crítico.

Os protocolos TEEN e APTEEN foram ambos desenvolvidos para aplicações de tempo crítico, e usam comunicação assimétrica entre a estação base e os nós sensores. Além disso, constroem *Clusters* através de *Cluster heads* realizando agregação de dados e enviando os dados agregados para a estação base, formação utilizada pelo protocolo LEACH, que foi tomado como base para a realização de diversas comparações via simulação.

No protocolo de *clusters* estáticos, os nós são inicialmente organizados em *clusters*, onde os *cluster heads* permanecem fixos durante todo o tempo de vida útil da rede. Os nós transmitem dados ao *cluster head* durante cada *frame* e o *cluster head* encaminha os dados para a estação base. Quando os dados coletados de determinados nós são extremamente correlatos aos dos nós vizinhos, o *cluster head* realiza agregação para reduzir a quantidade de dados transmitidos para a estação base. O *cluster head* envia os dados para a estação base usando um canal sem fio compartilhado, assim sendo é importante realizar a agregação de dados, procedimento que seria não tão relevante em casos onde os nós enviam dados diretamente para a estação base.

CAPÍTULO 3

A PROPOSTA LEACH-M

No capítulo 3, são apresentados de forma detalhada os protocolos de roteamento LEACH, LEACH-C e LEACH-F, explicando seus modelos de operação, principais características e vantagens. A seguir, é apresentada a proposta LEACH-M, visando melhorar o modelo original do protocolo LEACH, através da mudança de alguns parâmetros, como o modelo de eleição do *cluster head*, visando o aumento de vida útil da rede, a minimização do consumo de energia, e melhores resultados com relação ao atraso médio na entrega dos pacotes e *throughput*.

3.1 LEACH (*LOW-ENERGY ADAPTIVE CLUSTERING HIERARCHY*)

As RSSFs são redes voltadas essencialmente à coleta de dados onde os dados são muito correlatos e o usuário final necessita uma grande precisão do ambiente monitorado. Além disso, essas redes requerem facilidade de organização, tempo de vida longo, e baixa latência nas transmissões dos dados. A capacidade limitada da bateria e a grande quantidade de dados que cada nó deve transmitir significa que a aplicação deve ter um bom desempenho e ao mesmo tempo um custo mínimo de energia e latência.

Visando suprir essas necessidades, foi desenvolvido o protocolo LEACH (HEINZELMAN: 2002), como parte do projeto uAMPS junto ao MIT, sendo um protocolo de aplicação específica baseado em *clusters*, que possui as seguintes características:

- Formação de *clusters* aleatória, adaptativa e com auto-configuração;
- Controle local dentro de cada *cluster* para envio dos dados;
- Acesso ao meio com baixo consumo de energia através de comunicação com poucos *hops*;
- Agregação em função do processamento dos dados para a aplicação específica.

Para o desenvolvimento do LEACH, algumas características sobre os nós sensores e o modelo da rede foram consideradas. Para os nós, assume-se que todos podem controlar sua potência para variar a potência de transmissão, e que cada nó tem poder computacional para dar suporte a vários protocolos MAC, além de executar as funções de processamento do sinal. Essas suposições são necessárias ao se desenvolver um protocolo, em função dos avanços tecnológicos do hardware dos dispositivos de rádio e do baixo poder de processamento computacional no nó sensor. No modelo da rede, os nós sempre tem dados para enviar ao usuário final, e os nós localizados perto de outros nós tem dados correlatos.

No LEACH, os nós se organizam em *clusters* locais, cada um com um nó líder chamado de *cluster head*. Todos os nós comuns transmitem seus dados para o *cluster head* que recebe, realiza funções de processamento dos dados, tais como agregação, e transmite para a estação base remota. Portanto, um *cluster head* consome muito mais energia do que um nó comum. Se os *cluster heads* fossem escolhidos *a priori* e fixados durante todo o tempo de vida útil do sistema, teriam sua energia rapidamente gasta. Uma vez que o *cluster head* fica sem energia, se torna pouco operacional e todos os nós que pertencem ao seu *cluster* perdem a habilidade de se comunicar. Assim sendo, o LEACH trabalha com rotatividade aleatória de *cluster heads*, trabalhando com probabilidade de escolher os nós com mais energia para serem *cluster heads*, evitando dessa forma que a energia das baterias dos *cluster heads* seja rapidamente consumida, assim como a energia de toda a rede. Dessa forma, o consumo de energia ao ser um *cluster head* é eventualmente distribuída entre todos os nós.

As operações no LEACH são divididas em *rounds* ou rodadas. Cada *round* começa em uma fase denominada *set-up* quando os *clusters* são organizados, seguida de uma fase denominada *steady-state*, onde os dados são transferidos dos nós para o *cluster head*, e a seguir para a estação base. A figura abaixo mostra as fases de operação do LEACH.

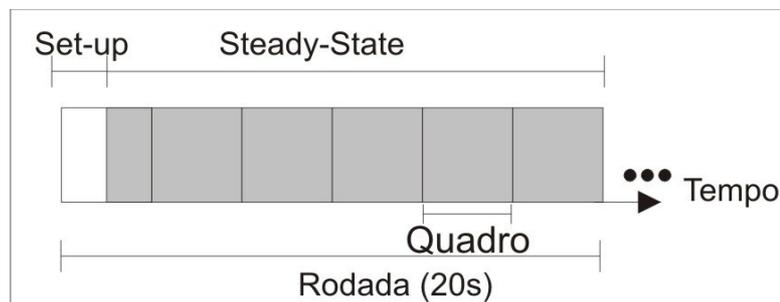


Figura 5: Formação de *clusters* durante a fase *set-up* e transferência de dados durante a fase *steady-state*.

3.1.1 O algoritmo probabilístico de seleção de *cluster heads*

O LEACH forma *clusters* utilizando um algoritmo distribuído, onde os nós tomam decisões autônomas sem nenhum controle centralizado, através de cálculo de probabilidades. O objetivo é fazer uso de um algoritmo de formação de *clusters* onde exista um certo número de *clusters* k , durante cada *round*. Além disso, se os nós começarem com energia igual, o algoritmo permite a distribuição da carga de energia entre todos os nós da rede, para que não haja sobrecarga em determinados nós e para que os mesmos não fiquem sem energia muito antes que os outros. Como a atuação de um *cluster head* exige um consumo mais alto de energia do que um nó comum na rede, é necessário que cada nó tenha sua vez como *cluster head*, aproximadamente o mesmo número de vezes, assumindo que todos começam com a mesma quantidade de energia.

Cada sensor se auto elege para ser um *cluster head* no começo de cada *round* $r+1$ (o qual começa no tempo t) com probabilidade $P_i(t)$. O número esperado de *cluster heads* para cada *round* é k , e N o número de nós na rede.

O número esperado de nós que não foram *cluster heads* nos primeiros *rounds* r é $N - k * r$. Depois de $\frac{N}{k}$ *rounds*, supõe-se que todos os nós foram *cluster head* pelo menos uma vez, e em seguida todos eles podem ser eleitos novamente para realizar as tarefas na próxima seqüência de *rounds*. $C_i(t)$ é 1 se o nó i é elegível para ser *cluster head* no tempo t e 0 caso

contrário. O termo $\sum_{i=1}^N C_i(t)$ representa o número total de nós que são elegíveis para serem *cluster heads* ao tempo t , e

$$E[\sum_{i=1}^N C_i(r)] = N - k * \left(r \bmod \frac{N}{k} \right) \quad (1)$$

Isso garante que a energia de todos os nós seja aproximadamente igual depois de cada $\frac{N}{k}$ rounds.

A probabilidade $P_i(t)$ é escolhida tal que o número esperado de *cluster heads* para esse round seja k , sendo

$$E[\#CH] = E[\sum_i^N C_i(t) * P_i(t)] = k \quad (2)$$

Assim

$$P_i(t) = \begin{cases} \frac{k}{N - k * (r \bmod \frac{N}{k})} & : C_i(t) = 1 \\ 0 & : C_i(t) = 0 \end{cases} \quad (3)$$

O número ótimo k pode ser determinado analiticamente baseando-se na dissipação de energia dos nós utilizada para processamento e comunicação na topologia da rede.

A escolha da probabilidade para tornar-se um *cluster head* é baseada na suposição que todos os nós iniciam com uma quantidade igual de energia, e que todos os nós tem dados para enviar durante cada *frame*. Se os nós tivessem quantidades diferentes de energia (ou como em um modelo orientado a eventos, que os nós somente enviam dados quando algum evento ocorre no ambiente), os nós com maior quantidade de energia deveriam ser *cluster heads* com mais frequência do que nós com menos energia, assegurando assim que os nós possam morrer aproximadamente ao mesmo tempo. Isso pode ser alcançado calculando-se a probabilidade de tornar-se um *cluster head*, através de uma função que calcula o nível relativo de energia do nó $E_i(t)$ relacionado à energia agregada remanescente na rede $E_{total}(t)$, ao invés de calcular somente o número de vezes que o nó tornou-se *cluster head*. Assim

$$P_i(t) = \min \left\{ \frac{E_i(t)}{E_{total}(t)} k, 1 \right\} \quad (4)$$

Usando essas probabilidades, os nós com maior energia são mais propensos a se tornarem *cluster heads* do que nós com menor energia. O número esperado de *cluster heads* é $E[\#CH]=k$

A equação (3) pode ser aproximada da equação (4) quando os nós começarem com energia igual, E_o . Se um nó for um *cluster head* nos últimos $r < \frac{N}{k}$ rounds, sua energia é aproximadamente $E_o - E_{CH}$, onde E_{CH} um número significativamente menor que E_o . Se o nó não tornou-se *cluster head* nos últimos r rounds, sua energia é aproximadamente E_o , sendo que um nó comum não necessita de muita energia comparando-se com um nó *cluster head*. É esperado que kr nós tenham sido *cluster heads*, e $N-kr$ nós não tenham sido *cluster heads* nos últimos r rounds. O total de energia é dado por:

$$E[E_{total}] = E_o(N - kr) + (E_o - E_{CH})(kr) \quad (5)$$

Então, a equação (4) torna-se:

$$E[P_i(t)] = \begin{cases} \frac{E_o k}{E_o(N-kr) + (E_o - E_{CH})kr} & : C_i(t) = 1 \\ \frac{(E_o - E_{CH})k}{E_o(N-kr) + (E_o - E_{CH})kr} & : C_i(t) = 0 \end{cases} \quad (6)$$

Sendo $E_o \gg (E_o - E_{CH})$, pode ser simplificado da seguinte forma:

$$E[P_i(t)] \approx \begin{cases} \frac{k}{N-kr} & : C_i(t) = 1 \\ 0 & : C_i(t) = 0 \end{cases} \quad (7)$$

Assim, a probabilidade de cada nó tornar-se *cluster head* a cada *round* é exatamente a mesma que a apresentada na equação (3) (para $r < \frac{N}{k}$).

Para calcular essas probabilidades é necessário que os parâmetros k e N sejam conhecidos. Para tanto, assume-se que esses parâmetros são programados nos nós *a priori*.

Entretanto, essa abordagem não funciona bem em redes dinâmicas. É possível calcular o número ótimo de *clusters* k através de uma função do número de nós N distribuídos através de um espaço $M \times M$. Entretanto, os nós somente precisam determinar N , assumindo que exista uma configuração definida para M . Para isso, os nós podem enviar mensagens de “hello” para todos os vizinhos sem um número de *hops* predeterminado. Cada nó pode contar o número de mensagens “hello” recebidas, sendo essa a estimativa dos nós para N . O número desejado de *clusters* k pode então ser determinado, com base nesses parâmetros. Essa abordagem permite ao LEACH se adaptar às mudanças da rede, ao custo do aumento do *overhead*.

3.1.2 Algoritmo de formação de *clusters*

Após os nós se tornarem *cluster heads* através do cálculo de probabilidades demonstrado anteriormente, o *cluster head* deve informar todos os outros nós da rede de sua eleição para o *round* atual. Para tanto, cada *cluster head* envia uma mensagem ADV (*advertising message*) via *broadcast* através de CSMA (*carrier-sense multiple access*) protocolo MAC (ETTUS: 1998). Essa mensagem é pequena, contendo apenas o ID do nó e um cabeçalho que distingue essa mensagem como uma mensagem de aviso. Cada nó que não é *cluster head* determina seu *cluster* para esse *round* escolhendo o *cluster head* que requer um mínimo de energia consumido na comunicação, baseando-se na intensidade do sinal de aviso recebido, o qual foi enviado por cada *cluster head*. Assumindo que a propagação do canal é simétrica, a mensagem de aviso do *cluster head* ouvida com o sinal mais forte vem do *cluster head* que requer a quantidade mínima de energia para efetuar a comunicação. Normalmente será o *cluster head* mais próximo do nó, a menos que um obstáculo impeça a comunicação. Nesse caso, um *cluster head* é escolhido de forma aleatória.

Após cada nó ter decidido para qual *cluster* ele pertence, ele deve informar ao *cluster head* que será um membro de seu *cluster*. Cada nó transmite uma mensagem *join-REQ* (*join request message*) para o *cluster head* escolhido usando o protocolo MAC CSMA. Essa mensagem também é curta, e consiste do ID do nó e do ID do *cluster head*.

No LEACH os *cluster heads* agem como centros de controle local que coordenam as transmissões de dados dentro de cada *cluster*. O *cluster head* organiza um esquema TDMA e

comunica esse esquema para todos os nós dentro do *cluster*. Isso garante que não haja colisões entre mensagens e também permite que os componentes de rádio de cada nó comum do *cluster* sejam desligados diversas vezes, exceto na sua vez de transmitir, reduzindo assim o consumo de energia dos nós individualmente.

Depois que o esquema TDMA é conhecido por todos os nós do *cluster*, a fase *set-up* está completa, e a fase *steady-state*, de transmissão de dados, pode começar.

Na figura 6 pode-se visualizar todo o esquema da fase *set up* do LEACH através de diagramas de blocos, mostrando o procedimento de escolha de *cluster heads*.

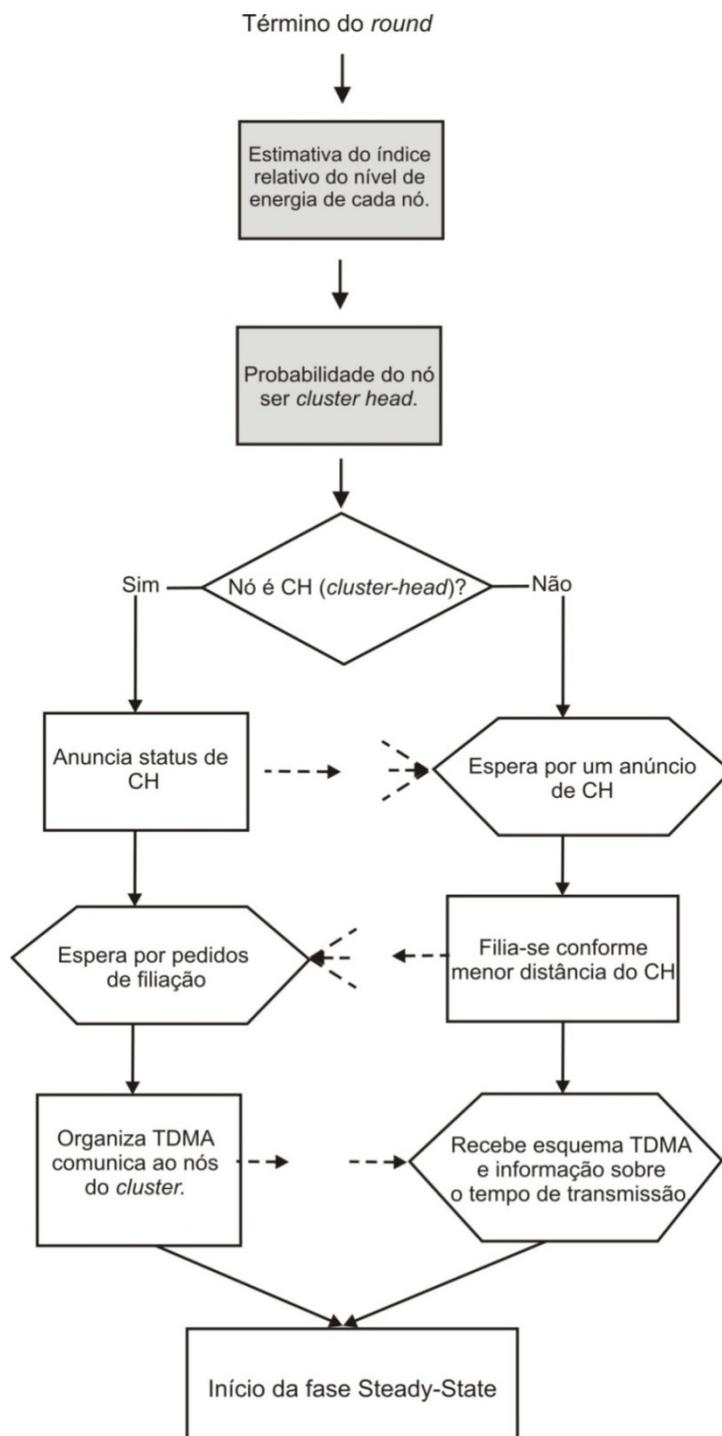


Figura 6: Diagrama de blocos descrevendo o funcionamento do algoritmo LEACH.

3.1.3 A fase *steady-state*

Essa fase é dividida em quadros, onde os nós enviam seus dados para o *cluster head* quando muito uma vez por quadro durante sua janela de transmissão, utilizando um modelo de tráfego CBR (*Constant bit rate*). A duração de cada janela na qual o nó transmite os dados é constante, então o tempo para enviar um *frame* de dados depende do número de nós no *cluster*. A figura 7 mostra a linha do tempo para um *round* do LEACH. Assume-se que os nós estão todo o tempo sincronizados e começam a fase *set-up* ao mesmo tempo. Isso pode ser alcançado tendo por exemplo, a estação base enviando pulsos de sincronização para todos os nós.

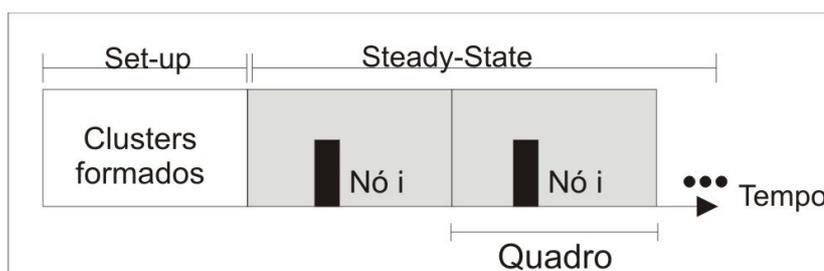


Figura 7: Linha do tempo do modo de operação do LEACH dentro de cada *cluster*. As transmissões dos dados são agendadas para evitar colisões e aumentar a quantia de tempo que cada nó comum do *cluster* pode permanecer em estado *sleep*.

Para reduzir a energia de dissipação, cada nó comum usa um controle de potência para configurar o valor da potência de transmissão, baseando-se na intensidade do sinal recebido pelo aviso do *cluster head*. Além disso, o rádio de cada nó comum é desligado até chegar o seu tempo de transmissão. Assim, o protocolo prevê a otimização para a situação onde todos os nós tem dados para enviar ao *cluster head*, e com o esquema TDMA, faz um uso eficiente da banda, além de representar baixa latência e uma abordagem eficiente em termos de energia.

O *cluster head* deve estar acordado para receber todos os dados dos nós do *cluster*. Após o *cluster head* receber todos os dados, ele realiza funções de agregação melhorando o sinal comum e reduzindo o ruído não correlato entre os sinais. Nesta abordagem, considerou-

se a perfeita correlação dado que todos os sinais individuais podem ser combinados em um único sinal representativo. Os dados resultantes são assim enviados do *cluster head* para a estação base. Considerando que a estação base deve estar localizada a uma grande distância, o consumo de energia da transmissão deve ser bastante elevado.

Na comunicação dentro de cada *cluster*, protocolos e MAC são desenvolvidos para assegurar pouca energia de dissipação nos nós e evitar colisões quando as mensagens são enviadas. Entretanto, o rádio é inerente ao meio de radiodifusão. Assim sendo, a transmissão em um *cluster* afetará, e freqüentemente reduzirá a comunicação e um *cluster* próximo. Para reduzir a interferência entre os *clusters*, cada *cluster* no LEACH se comunica usando DSSS (*direct-sequence spread spectrum*). Cada *cluster* usa um único código de *spreading*, todos os nós do *cluster* transmitem seus dados para o *cluster head* usando esse código, e o *cluster head* filtra toda a energia recebida usando esse código *spreading* (HU, 1993). Isso é conhecido como *Transmitter-based code assignment*, desde que todos os nós usem o mesmo código.

O primeiro *cluster head* que avisa sua posição recebe o primeiro código em uma lista predeterminada, o segundo *cluster head* a avisar sua posição recebe o segundo código, e assim sucessivamente. Com *spreading* suficiente, os sinais de rádio de *clusters* vizinhos são filtrados como sendo ruídos, e removidos durante a correlação, e assim não corrompem a transmissão dos nós dentro do *cluster*. Para reduzir a possibilidade de interferência com *clusters* vizinhos e reduzir sua própria dissipação de energia, cada nó ajusta sua potência de transmissão.

3.2 O ALGORITMO CENTRALIZADO LEACH-C

Enquanto há diversas vantagens em usar o algoritmo de formação de *clusters* de forma distribuída LEACH, o mesmo não oferece nenhuma garantia com relação à localização onde os *clusters* são formados, e nem sobre o número de *cluster heads*.

Sendo os *clusters* adaptáveis, mesmo havendo uma fase *set-up* bastante desuniforme em determinado *round*, não haverá um grande efeito sobre o desempenho geral do protocolo. Entretanto, utilizar um algoritmo de controle central para formação dos *clusters* pode produzir melhores *clusters* ao distribuir os *cluster heads* através da rede. Este é o objetivo geral do

LEACH-C (*LEACH-centralized*), um protocolo que usa um algoritmo de controle central e a mesma fase *steady-state* do protocolo LEACH (HEINZELMAN: 2002).

Durante a fase *set-up* do LEACH-C, cada nó envia informações sobre sua atual localização, obtidos com um dispositivo GPS, e também informações sobre seu nível de energia para a estação base. Além de determinar melhores *clusters*, a base precisa assegurar que a carga de energia está uniformemente distribuída entre os nós. Para tanto, a base calcula a média de energia dos nós, e seja qual for o nó que tiver energia abaixo dessa média não pode ser *cluster head* no atual *round*. Usando os nós remanescentes como possíveis *cluster heads*, a base encontra *clusters* utilizando o algoritmo *Simulated Annealing* (ISHIBUCHI, MURATA: 1994), resolvendo assim o problema de encontrar o número ótimo de *clusters* k . Esse algoritmo objetiva minimizar a quantidade de energia gasta por nós comuns ao transmitir seus dados para o *cluster head*, minimizando a soma da distância quadrada entre todos os nós comuns e o *cluster head* mais próximo. Em função do modelo de escolha dos *clusters heads* ser probabilístico, ele garante apenas um número médio de k *clusters* para um grande número de *rounds*.

Uma vez que os *cluster heads* e seus consecutivos *clusters* foram encontrados, a base envia uma mensagem via *broadcast* contendo o ID do *cluster head* para cada nó. Se um *cluster head* recebe seu próprio endereço como identificação, o nó se torna *cluster head*; caso contrário, o nó determina sua janela TDMA para transmissão de dados e entra em estado *sleep* até chegar a hora de transmitir dados. A fase seguinte, *steady-state*, é idêntica a fase correspondente no LEACH.

3.3 LEACH-F: *CLUSTER* FIXO, *CLUSTER HEAD* ROTATIVO

O LEACH-F, como o LEACH-C, foi desenvolvido a partir do LEACH, visando avaliar ao máximo a formação dos *clusters*, considerando os custos de cada abordagem e o desempenho obtido por cada um dos protocolos (HEINZELMAN: 2002).

Adaptar os *clusters* dependendo de quais nós são *cluster heads* para um *round* em particular é vantajoso porque assegura que os nós se comuniquem com o *cluster head* que

requer o mais baixo valor de potência de transmissão. Além de reduzir a dissipação de energia, assegura que a interferência entre os *clusters* seja minimizada.

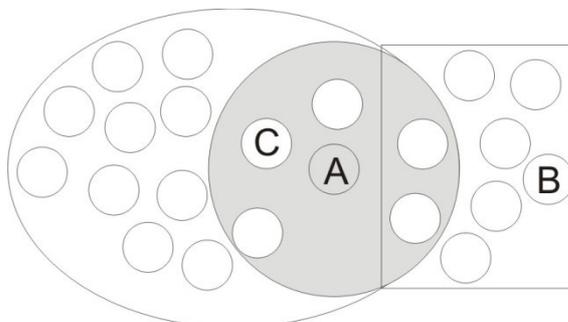


Figura 8: *Clusters adaptativos que mudam dependendo da localização dos cluster heads, havendo apenas uma interferência mínima entre os clusters.*

Na figura 8, o nó A escolhe se juntar ao *cluster head* C porque requer menos potência de transmissão para se comunicar com o nó C do que com o nó B (a outra possível escolha de *cluster head*). Além disso, ao minimizar a dissipação de energia dos nós que não são *cluster heads*, o cluster adaptativo reduz a interferência entre os *clusters*.

Se, por outro lado, os *clusters* forem fixos e apenas os *cluster heads* forem rotativos, um nó acaba utilizando uma grande quantidade de potência para se comunicar com o *cluster head* quando há outro *cluster head* pertencente a outro *cluster* perto de si, o que pouparia energia consumida na transmissão.

Por exemplo, na figura 9, o nó A precisa usar uma grande quantidade de potência de transmissão para se comunicar com seu *cluster head*, o nó B. Estando o *cluster head* C (localizado perto do nó A), a transmissão do nó A irá corromper qualquer transmissão para o *cluster head* C. Conseqüentemente, utilizando *clusters* fixos e rotatividade de *cluster heads* dentro do *cluster* deve exigir maior potência de transmissão dos nós, aumentando a dissipação de energia de nós comuns que não são *cluster heads*, e aumentando a interferência entre os *clusters*.

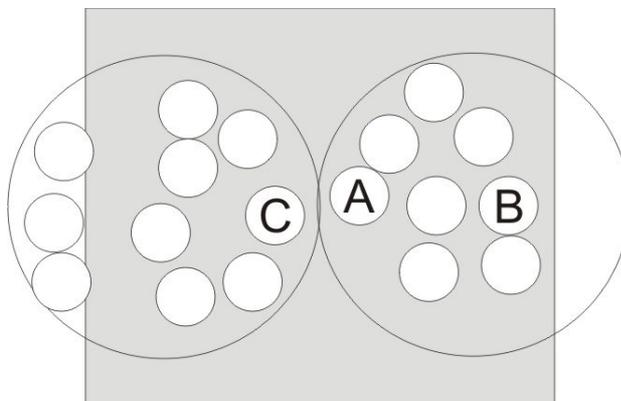


Figura 9: Aumentando a dissipação de energia de nós comuns que não são *cluster heads*, e aumentando a interferência entre os *clusters*.

A vantagem de se utilizar os *clusters* fixos é que uma vez que os *clusters* são formados, não existe *overhead* da fase *set-up* no início de cada *round*. Dependendo do custo para a formação de *clusters* adaptativos uma abordagem onde os *clusters* são formados uma vez e fixados e a posição do *cluster head* é rotativa entre todos os nós do *cluster* pode ser eficiente no aspecto de energia do que o LEACH. Essa é a base para LEACH-F, LEACH com *clusters* fixos. No LEACH-F, os *clusters* são criados usando um algoritmo de formação de *clusters* centralizado, desenvolvido para o LEACH-C. A estação base usa o algoritmo *Simulated Annealing* para determinar os *clusters* ótimos e envia via *broadcast* a informação do *cluster* para todos os nós. Essa mensagem inclui o ID do *cluster* para cada nó, do qual os nós podem determinar o esquema TDMA e a ordem de rotatividade da posição de *cluster head*. O primeiro nó associado ao *cluster* torna-se *cluster head* no primeiro *round*, o segundo nó associado torna-se *cluster head* no segundo *round*, e assim por diante.

Usando LEACH-F não é necessária a fase *set-up* para os *rounds* diferentes. Fica subentendido que os nós sabem quando eles serão *cluster heads* e quando eles não serão. A fase *steady-state* do LEACH-F é idêntica à do LEACH.

LEACH-F não é recomendado para ser utilizado em sistemas dinâmicos. Sua natureza de *clusters* fixos não permite que novos nós sejam adicionados ao sistema, não ajustando sua

base comportamental resultando na morte dos nós. Além disso, LEACH-F não trabalha com a mobilidade dos nós. Por essa razão, enquanto esse é um protocolo para se observar uma boa comparação com relação às necessidades de baixo ou nenhum *overhead*, em sistemas reais pode não ser um protocolo muito útil.

3.4 A PROPOSTA LEACH-M (LEACH MODIFICADO)

A proposta LEACH-M foi desenvolvida tomando como base o algoritmo LEACH, bem como suas variantes LEACH-C e LEACH-F (HEINZELMAN: 2002).

Em redes de tamanho moderado com dezenas ou centenas de nós, é extremamente difícil realizar a análise das interações entre todos os nós, bem como do comportamento da rede.

O LEACH-M baseia-se no conceito de *clusters* como o LEACH, e a fase *set-up* é bastante semelhante, diferindo basicamente no modelo de tomada de decisão para a escolha do *cluster head*. O LEACH utiliza o modelo probabilístico, e LEACH-M o modelo determinístico.

Fenômenos aleatórios ou probabilísticos são aqueles em que não se pode prever com certeza o resultado de um experimento, porém é possível, em geral, relacionar todos os resultados possíveis de acontecer. Neste contexto, tem-se que o conceito de probabilidade é fundamental para o estudo de situações onde os resultados são variáveis, mesmo quando mantidas inalteradas as condições de sua realização (CESAR et al: 1991).

O LEACH é um algoritmo com base probabilística, baseado no princípio da ordenação probabilística (*Probability Ranking Principle*) que estima os níveis de energia dos nós da rede e em seguida calcula a probabilidade de determinado nó com estimativa de possuir um nível mais elevado de energia ser escolhido *cluster head*. Sendo probabilístico, sempre há a possibilidade de um nó com menor energia se tornar *cluster head*, ocupando a posição que deveria ser de um nó com mais energia. Há então, a probabilidade da rede consumir energia mais rapidamente, ficando esta com tempo de vida útil reduzido, além de poder comprometer

o *throughput* quando da transferência dos pacotes, e aumentar o atraso médio no final de cada transmissão.

De forma contrária ao modelo probabilístico, o modelo determinístico tem como fundamentação metodológica o raciocínio dedutivo. Este tipo de modelo é adequado à situações em que se conhece todo o processo à ser modelado, ou àquelas em que a população à ser tratada é suficientemente grande. Nestes casos, dadas às condições iniciais e os valores dos parâmetros, toda a evolução das variáveis é determinada pela estrutura do modelo (MASSAD: 2004).

O modelo proposto para o LEACH-M baseia-se no princípio de que, sabendo-se quais são os nós com maior nível de energia após cada *round*, é possível determinar os nós mais aptos a tornarem-se *cluster heads* no próximo *round*.

Ao invés de fazer uma estimativa do nível de energia dos nós, e em seguida, a probabilidade dos mesmos de serem *cluster heads*, LEACH-M faz uma relação de todos os nós da rede, e o nível de energia restante em cada um no término de cada *round* elencando todos os nós em um vetor, classificando-os conforme o índice de energia em forma crescente, ou seja, quanto menor o índice calculado, maior o nível de energia do nós, pois significa que ele consumiu menos energia no *round*.

Para o cálculo de tal índice, utilizou-se a seguinte expressão

$$\alpha = \frac{E_{Consumida}}{E_{Restante}} \quad (8)$$

Sendo α o índice de energia utilizado para encontrar os nós com maior energia, E_C o total de energia consumida no ultimo *round* e E_R a energia restante em cada nó (já subtraído o valor da energia consumida no *round*).

Assim após o índice ser calculado para todos os nós da rede, os resultados são ordenados em ordem crescente, do menor para o maior valor, sendo que os primeiros nós com índice de menor valor são os nós com mais energia no *round*, e os elegíveis para serem *cluster heads*.

Pode-se observar na figura 10 o modo de operação do algoritmo LEACH-M, conforme o diagrama de blocos. A característica principal que difere LEACH-M de LEACH é o modelo determinístico. Observa-se claramente no diagrama o modelo de escolha dos *cluster heads*, onde a base é totalmente determinística, não possuindo nenhum cálculo de probabilidades envolvido.

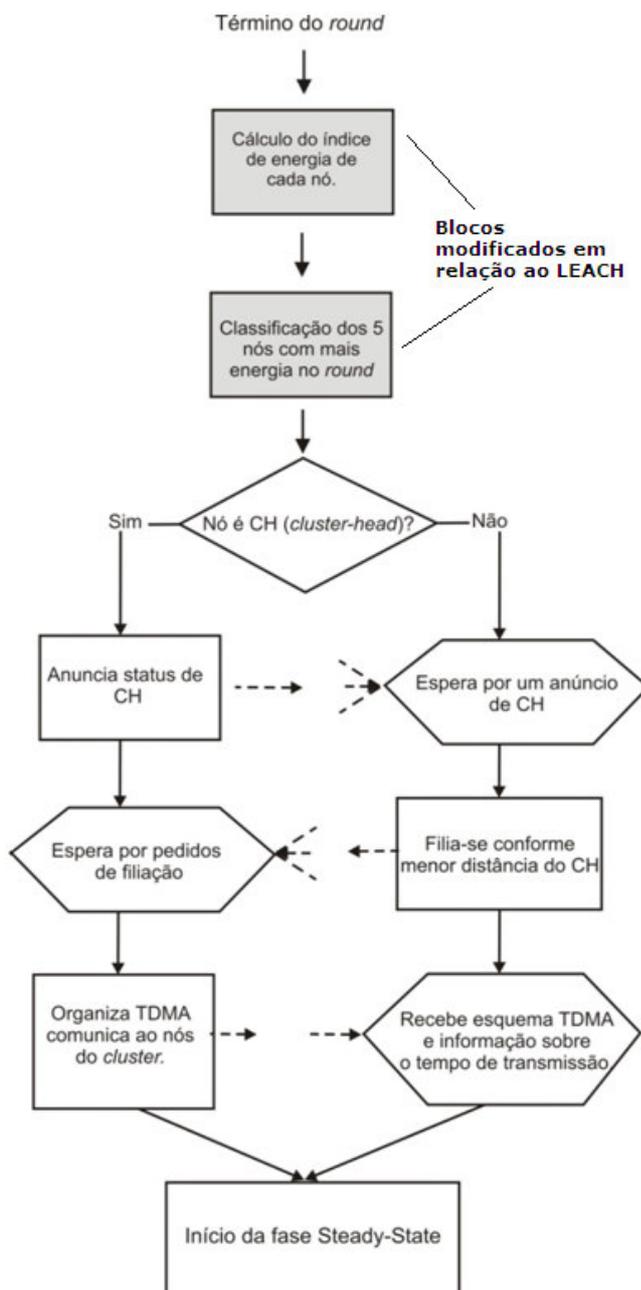


Figura 10: Diagrama de blocos mostrando o funcionamento do algoritmo LEACH-M.

Para a formação de *clusters*, além de saber quais são os nós mais aptos a serem *cluster heads*, também é necessário estimar quantos *cluster heads* serão eleitos em cada *round*.

No trabalho original do LEACH, foi realizado um estudo sobre o número ótimo de *clusters* conforme o tamanho da rede. Pode-se determinar analiticamente, o número ótimo de *clusters* k , usando o modelo de energia de comunicação proposto. Assume-se que existam N nós distribuídos uniformemente em uma área $M \times M$. Se existem k *clusters*, existem em média N/k nós por *cluster* (1 *cluster head* e $(N/k) - 1$ nó não *cluster head*). Cada *cluster head* dissipa energia recebendo sinais dos nós, agregando os sinais e transmitindo os sinais recebidos para a estação base. Considera-se que o modelo de perda de percurso segue um decaimento proporcional com a quarta potência da distância (d^4).

Segundo o trabalho de Heinzelman *et al* (2002), pode-se encontrar o número ótimo de *clusters* através da função:

$$K_{opt} = \frac{\sqrt{N}}{\sqrt{2\pi}} \sqrt{\frac{E_{fs}}{E_{mp}} \frac{M}{d_{toBS}^2}} \quad (9)$$

Onde K_{opt} corresponde ao número ótimo de *clusters*; N o número de nós da rede; M corresponde à área de distribuição dos nós; E_{fs} e E_{mp} correspondem à energia do amplificador do rádio do nó e d_{toBS}^2 corresponde à distância da estação base.

Supondo-se uma área de 100 m^2 , 100 nós, e localização da base em relação à origem dos eixos $75\text{m} \times 185\text{m}$ e baseando-se na fórmula (9), o número ótimo de clusters esperado foi $1 < K_{opt} < 6$. Usando simulações, os autores obtiveram a tabela abaixo que corresponde à função entre o número ótimo de clusters e a energia média dissipada em cada *round*.

Tabela 6: Número ideal de *clusters* conforme a média de energia dissipada por *round*.

Número de <i>Clusters</i>	Média de energia dissipada por <i>round</i> (J)
1	4,80
2	3,80
3	2,50
4	2,30
5	2,20
6	3,10
7	3,80
8	4,30
9	5,00
10	5,70
11	6,50

Esses resultados foram confirmados em diversas simulações, e constatou-se que para uma rede de 100 nós, o número ótimo de *clusters* é 5, um valor correspondente à 5% do número de nós da rede.

Baseando-se nessa estimativa de número de *clusters* ótimos para cada rede, a proposta do LEACH-M é fixar o número de *clusters* em 5% do número total de nós da rede, visto que através do demonstrado no trabalho original do LEACH, esse número otimiza bastante o desempenho da rede.

Conforme descrito na proposta LEACH-F, os *clusters* são fixados e apenas os *cluster heads* mudam de posição conforme cada *round*.

No LEACH-M o número de *clusters* é fixado conforme o cálculo do número ótimo correspondente, porém sua posição se redistribui conforme cada *round*, em que novos *cluster heads* são eleitos.

Assim sendo, existem diversas similaridades entre o LEACH-M e os algoritmos propostos anteriormente, porém, o ganho de desempenho ao incorporar essas alterações à uma única proposta é bastante significativo.

De uma forma geral, pode-se resumir as características gerais dos protocolos da família LEACH, conforme a tabela 7.

Tabela 7: Tabela demonstrativa das principais características dos protocolos da família LEACH.

Protocolo	Características
LEACH	Modelo probabilístico de escolha de <i>cluster heads</i> , baseada em aleatoriedade na distribuição dos <i>clusters</i> , e estimativa de níveis de energia dos nós, sendo as operações realizadas nos nós. Como o modelo baseia-se em probabilidades, não há garantias de que o nó com mais energia no <i>round</i> atual será escolhido <i>cluster head</i> .
LEACH-C	A escolha dos <i>cluster heads</i> é realizada na estação base, baseando-se na estimativa de energia de cada nó e na localização dos mesmos na rede. A eleição dos <i>cluster heads</i> é otimizada em função da informação geográfica, fazendo com que a distribuição dos <i>clusters</i> seja mais homogênea. Como os nós enviam informações sobre níveis de energia e localização para a estação base, existe um custo de energia maior, ao se trabalhar com mais informações para o processo de escolha dos <i>cluster heads</i> .
LEACH-F	Escolha inicial dos <i>clusters</i> , que são fixados, e posteriormente há rotatividade dos <i>cluster heads</i> , sendo que cada nó será <i>cluster head</i> baseando-se na ordem de filiação de cada nó no <i>cluster</i> . A energia gasta no processo de formação de novos <i>clusters</i> é minimizada, uma vez que os <i>clusters</i> estabelecidos no momento de implantação da rede são fixados, porém a rotatividade <i>cluster heads</i> dentro dos <i>clusters</i> pode provocar <i>over head</i> além de o tempo vida útil da rede ser bastante limitado
LEACH-M	Modelo determinístico para eleição dos <i>cluster heads</i> , baseando-se no cálculo de energia de cada nó, sendo eleitos os nós com mais energia no <i>round</i> . Estimativa do número ótimo de <i>clusters</i> dependendo do tamanho da rede. Há garantia de que os nós com mais energia em cada <i>round</i> serão eleitos <i>cluster heads</i> , porém a distribuição espacial dos <i>clusters</i> pode ser feita de maneira um pouco ineficiente, em função de não haver informações geográficas sobre a localização dos nós.

No próximo capítulo serão apresentados os resultados das simulações realizadas comparando o desempenho dos algoritmos descritos na literatura (LEACH e LEACH-C) com a proposta LEACH-M.

CAPITULO 4

VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados das simulações realizadas com os protocolos LEACH, LEACH-C e LEACH-M. O protocolo LEACH-F não foi simulado, em função dos resultados insatisfatórios obtidos no trabalho original do LEACH. Ele foi proposto visando apresentar mais uma possibilidade de variação do protocolo LEACH, porém, os resultados de testes apresentaram-se inferiores ao desempenho do LEACH. O objetivo aqui é confrontar o LEACH-M com o LEACH original sendo o LEACH-M uma variante do mesmo, e com o LEACH-C, pois este apresentou resultados superiores ao LEACH em algumas situações nas simulações originais. Serão apresentadas simulações realizadas com cenários de 50m x 50m, 100m x 100m e 200m x 200m, e redes de 100 e 200 nós e diversas métricas de desempenho baseadas em energia consumida, desempenho na entrega dos pacotes e tempo de vida das redes.

4.1 CENÁRIOS E MÉTRICAS

A fim de validar a proposta LEACH-M, foram feitas simulações com os protocolos LEACH e LEACH-C, comparando os três protocolos em diversos aspectos e cenários.

Visando obter resultados confiáveis do estudo dos protocolos de roteamento, utilizou-se o simulador de redes *Network Simulator (NS-2)*, que é um simulador de redes baseado em eventos e orientado a objetos (UCB/LBNL/VINT:1995).

As medidas utilizadas para efetuar a análise de desempenho foram: consumo de energia, *throughput*, atraso médio na entrega dos pacotes, número total de pacotes enviados à base, tempo de vida da rede e número de nós vivos.

Foram avaliados os seguintes cenários utilizando os protocolos LEACH, LEACH-C e LEACH-M:

- Cenário 1: Rede com 200 nós e área de 200m x 200m;

- Cenário 2: Rede com 100 nós em uma área de 200m x 200m;
- Cenário 3: Rede com 100 nós em uma área de 50m x 50m;
- Cenário 4: Rede com 100 nós em uma área de 100m x 100m;
- Cenário 5: Rede com 100 nós em uma área de 100m x 100m, com os 3 protocolos acima citados, e o LEACH-M utilizando mais duas variantes: com 2 *clusters* e 10 *clusters*.

Os parâmetros da simulação foram configurados considerando-se baixa interferência intra e inter *clusters*, alcance de todos os nós à estação base, taxa de transmissão de dados tipo CBR (*Constant bit rate*), largura de banda suficiente para as transmissões e controle dos equipamentos de radio por parte dos nós sensores, com a liberdade de ligar e desligar seu sistema sempre que necessário.

A tabela 8 apresenta os parâmetros considerados para as simulações apresentadas neste capítulo, as quais foram utilizadas na simulação original do LEACH (HEINZELMAN: 2002).

Tabela 8: Parâmetros básicos utilizados na simulação.

Velocidade de propagação das ondas de rádio	3×10^8 m/s
Atraso de processamento por nó	50 μ s
Taxa de transmissão (Rb)	1 Mbps
Tamanho do bloco de dados	500 bytes
Tamanho do cabeçalho (head)	25 bytes
Tempo de simulação	3600 segundos
DSSS	8
Intervalo de troca dos <i>clusters</i>	20 segundos
Energia inicial do nó	2 J
RXThresh	6e-9
CSThresh	1e-9
Excvr	50e-9
Efriss_amp	9.6741659015025702e-12
Etwo_ray_amp	1.3037037037037037e-15
Ebf	5e-9

As seis últimas linhas da tabela dizem respeito à configuração do canal de transmissão de dados e do modelo de acesso ao meio (MAC).

4.2 SIMULAÇÕES E RESULTADOS

4.2.1 Cenário 1

A simulação inicial foi desenvolvida em um cenário de 200m x 200m, com 200 nós distribuídos aleatoriamente sobre essa superfície. Obtiveram-se resultados dos protocolos LEACH, LEACH-C e LEACH-M.

Os sensores foram distribuídos aleatoriamente, conforme observado na figura 11.

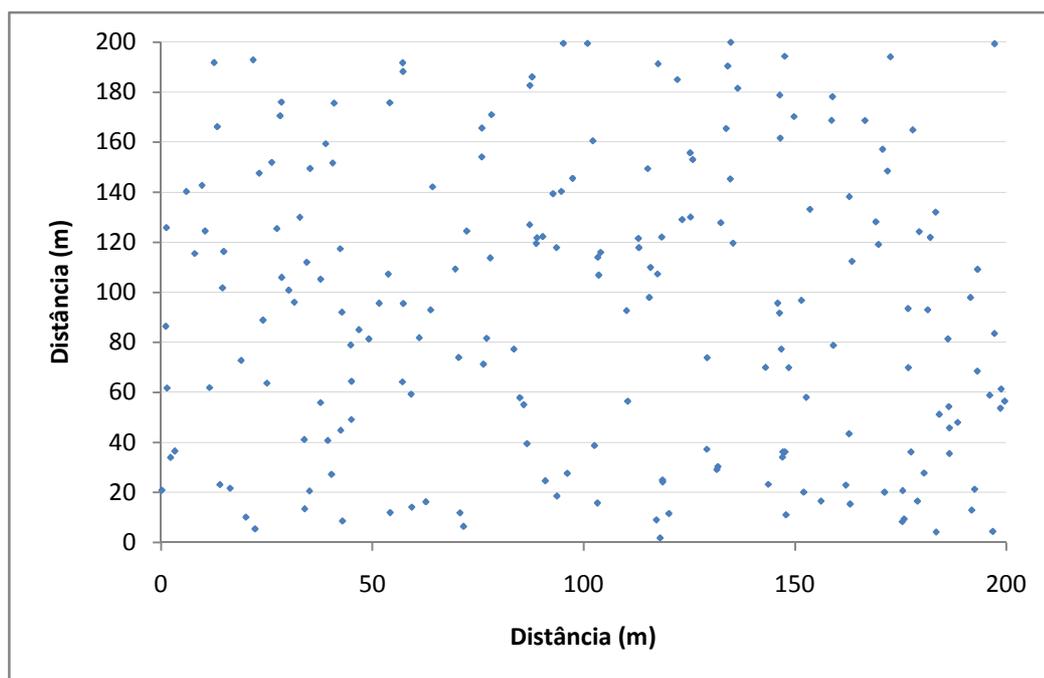


Figura 11: Distribuição espacial dos sensores gerada aleatoriamente em uma rede de 200 nós.

Primeiramente, reproduziram-se as simulações realizadas no trabalho original do LEACH (HEINZELMAN *et al.*: 2002), onde as simulações foram realizadas com uma rede de 100 nós em um cenário de 100m x 100m. Aqui, as simulações foram feitas com uma rede de

200 nós em um cenário de 200m x 200m. Os resultados obtidos com a simulação de 200 nós possuem curvas com a mesma tendência do primeiro trabalho com 100 nós.

O primeiro gráfico obtido diz respeito ao número acumulado de pacotes enviados à base durante o tempo da simulação. Como a energia de cada nó é bastante limitada, iniciando a simulação com energia de 2 Joules, a curva correspondente a cada protocolo finaliza quando a energia da rede acaba, ou seja, quando o consumo da energia total da rede atinge 400 Joules.

Na figura 12 pode-se visualizar que o LEACH tem uma capacidade de envio de dados reduzida, pois envia menos pacotes à base e o tempo de vida de sua rede é bastante curto. O LEACH-C apresenta um bom desempenho, enviando muitos pacotes à base, tendo assim um tempo de vida da rede um pouco limitado. LEACH-M, apesar de enviar menos pacotes à base que LEACH-C, apresenta tempo de envio de pacotes um pouco maior, o que indica que sua rede tem um tempo de vida estendido.

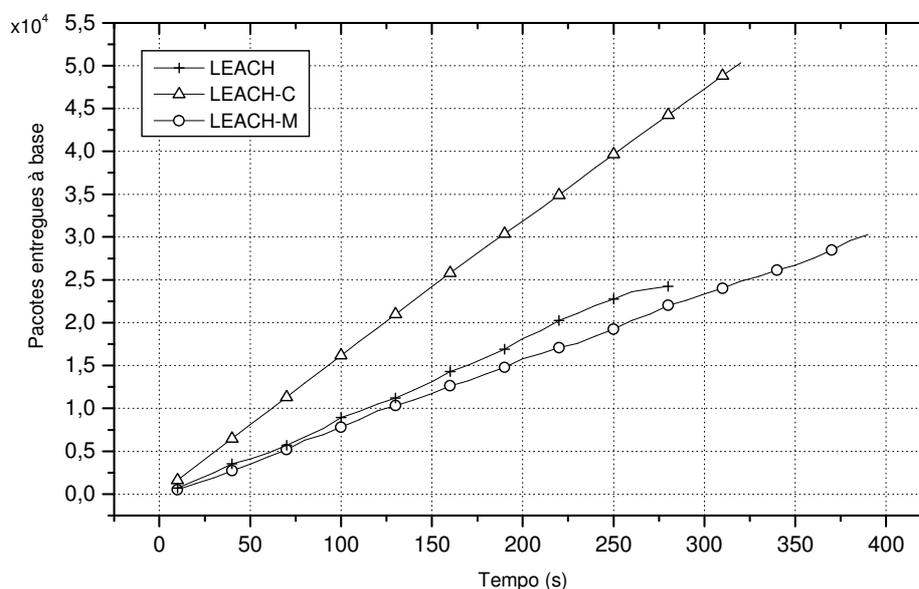


Figura 12: Acumulado de pacotes de dados entregues à estação base, conforme o desempenho de cada protocolo.

O LEACH-C apresenta um desempenho mais favorável na entrega dos pacotes na base em virtude de seu algoritmo proporcionar a escolha de *clusters* ótimos, em função da

localização dos nós na rede. Nota-se que LEACH e LEACH-M apresentam desempenho semelhante, em função de não terem esse algoritmo de escolha de *clusters* ótimos, ainda assim LEACH-M mantém sua rede viva por mais tempo.

A figura 13 apresenta a energia consumida comparada à quantidade de pacotes entregues na estação base. O LEACH-M consome menos energia que o LEACH-C, mas entrega menos pacotes à base. Por otimizar a escolha dos *clusters* em cada *round*, o LEACH-C entrega mais pacotes à base, com um consumo mais elevado de energia, o que faz com que sua rede tenha menor duração que as demais. O LEACH-M permite que sua rede dure mais que as demais, com um número intermediário de pacotes entregues, e consumo razoável. O LEACH é dentre os 3 algoritmos, o que menos pacotes entrega na base.

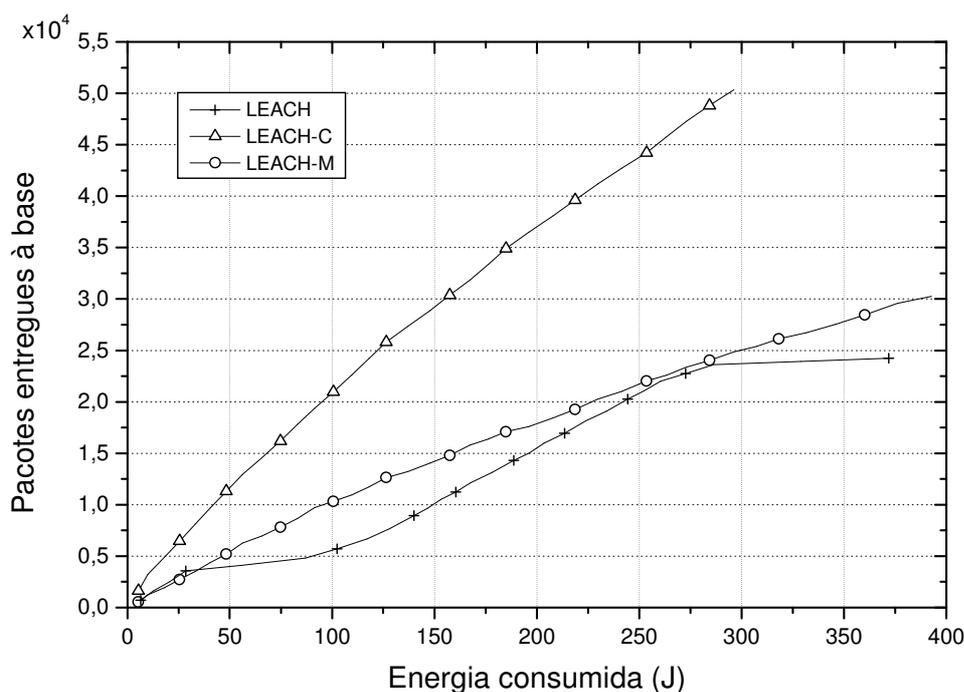


Figura 13: Total de pacotes de dados recebidos pela estação base em relação a energia consumida no período, sendo a energia inicial de cada nó 2 (J)

Foram realizadas simulações para verificar a resistência de cada protocolo analisando a mortalidade dos nós da rede. Inicialmente a rede possui 200 nós vivos, e conforme a figura 14

pode-se notar o desempenho dos protocolos. O LEACH não consegue manter seus nós vivos por muito tempo, sendo a rede com menor tempo de vida. O LEACH-M possui um desempenho bem melhor que LEACH-C, pois os nós de sua rede se mantêm vivos por um tempo maior e, além disso, a perda dos nós é gradual e não tão abrupta como nos outros protocolos.

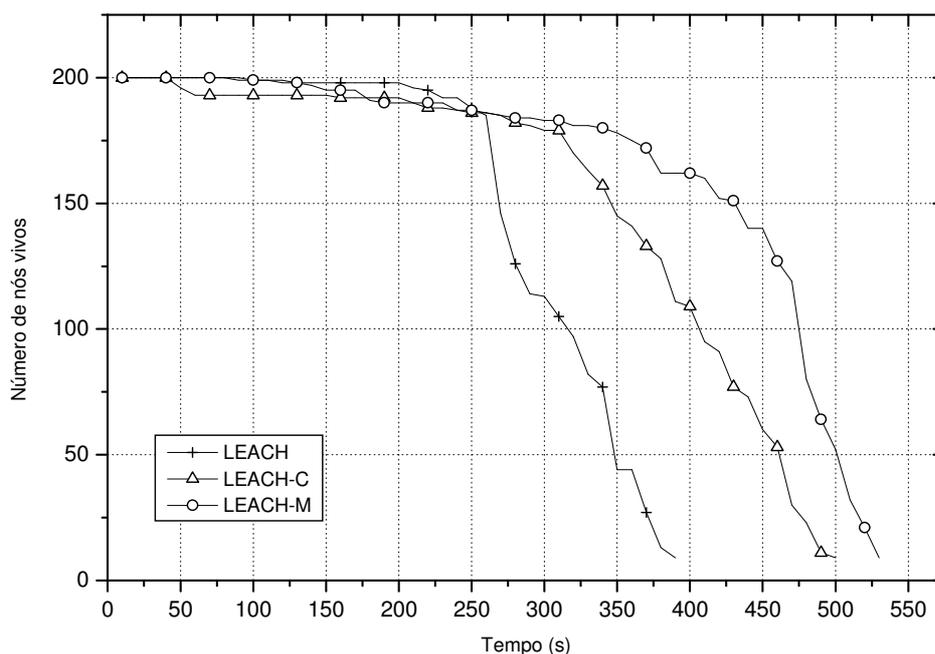


Figura 14: Demonstrativo do tempo de vida da rede, analisando a durabilidade dos nós na rede com a atuação de cada protocolo.

A escolha dos *cluster heads* realizada de forma determinística pelo LEACH-M influencia diretamente na durabilidade da rede. Como a escolha é feita baseando-se nos nós com maior índice de energia, e não utilizando cálculo de probabilidades, é certo que os nós eleitos *cluster heads* terão mais energia, e a morte dos nós se dará de forma mais homogênea, garantindo assim um tempo maior de vida para a rede. O desempenho de LEACH-M mostrou-se 134% melhor que o LEACH e 105% melhor que o LEACH-C. Já no caso dos protocolos LEACH e LEACH-C, essa escolha baseia-se em cálculo de energia e probabilidade, o que ocasiona a possível escolha de *cluster heads* com menos energia do que os demais, tendo como consequência a mortalidade mais acelerada dos nós e o menor tempo de vida da rede.

Com relação ao atraso médio, definido como o intervalo médio de tempo entre a partida de um pacote do nó origem até a sua entrega na estação base, o LEACH-C apresentou um desempenho um pouco mais favorável, com tempo médio de atraso de 0,08 s. Isto deve-se em função da escolha de *clusters* ótimos através do algoritmo centralizado, pois sendo os nós melhor distribuídos nos *clusters* em função de sua localização, o atraso na entrega dos pacotes tende a ser menor. LEACH-M e LEACH tiveram a mesma média de atraso, 0,17 s, porém o LEACH-M foi um pouco mais constante na variação da taxa de entrega dos pacotes. Isso pode ser observado na figura 15.

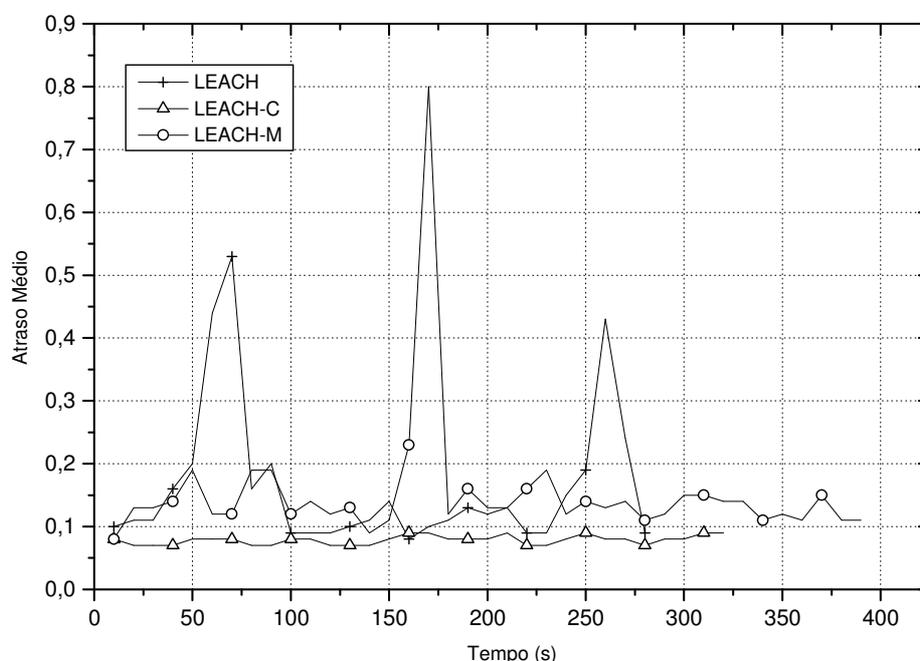


Figura 15: Atraso médio na entrega dos pacotes à estação base, estimado pela razão entre o número médio de pacotes entregues por intervalo de tempo.

Considerando que todos os nós iniciaram a simulação com 2 Joules de energia, na figura 16 pode-se verificar o consumo de energia dos protocolos ao longo do tempo. O LEACH apresenta um consumo mais instável, LEACH-C e LEACH-M são mais estáveis na distribuição do consumo de energia. A durabilidade de energia da rede é maior no LEACH-M, que se mantém mais tempo ativo, em função da escolha determinística dos nós *cluster*

heads, podendo-se determinar os nós com maior nível de energia. Assim sendo, é possível prolongar o tempo de vida da rede ao máximo (o LEACH-M tem um consumo menor de energia por unidade de tempo).

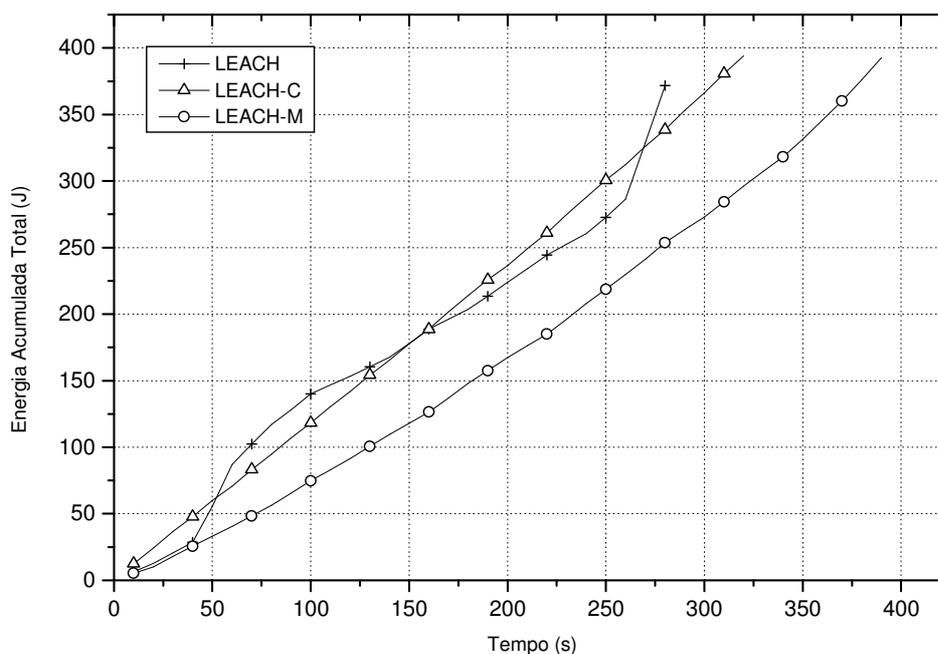


Figura 16: Acumulado de energia total consumida por cada um dos protocolos, em um cenário com 200 nós, levando-se em conta a durabilidade da carga de energia da rede.

Na figura 17 pode-se observar o consumo de energia ao longo do tempo, demonstrado em intervalos de 10 segundos. Percebe-se que LEACH-C e LEACH-M são bem mais constantes que LEACH, que apresenta uma variação de consumo bastante considerável. LEACH-M consegue preservar sua energia ao máximo, incrementando o tempo de vida da rede em função da escolha de seus nós se basear no nível determinístico de energia dos nós, calculado através do índice de consumo de energia em cada *round*.

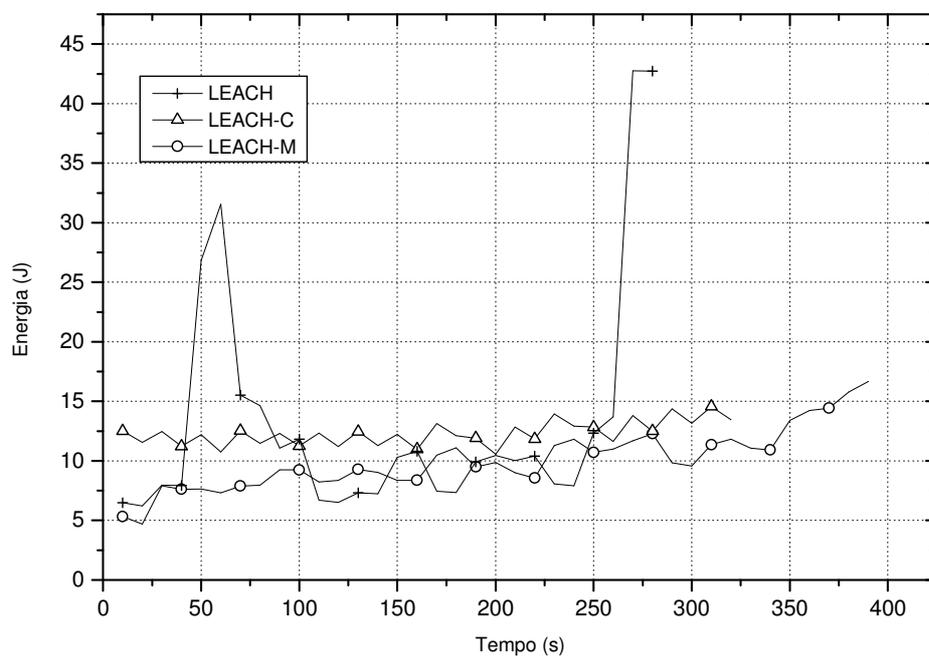


Figura 17: Consumo instantâneo de energia demonstrado em intervalos de 10 segundos, com valores médios para toda a rede.

O *throughput* médio, que corresponde à taxa de envio de pacotes enviados do nó de origem até a estação base dentro de um intervalo de tempo, foi medido conforme as simulações de cada protocolo. Pode-se observar conforme a tabela 9, que LEACH e LEACH-M tiveram um desempenho menos favorável que o LEACH-C, porém o LEACH-M tem variância e desvio padrão menores. A escolha dos *cluster heads* no LEACH-M faz com que o desempenho da rede tenda a ser menos instável com o passar do tempo.

Tabela 9: *Throughput* médio, Variância e Desvio padrão dos protocolos, observados em uma rede de 200 nós.

	<i>Throughput</i> Normalizado	Variância	Desvio Padrão
LEACH	0.55	2.3	1.5
LEACH-C	1	2.2	1.5
LEACH-M	0.50	1.1	1.1

Na figura 18 é apresentada a comparação de *throughput* entre os protocolos. O LEACH apresenta um *throughput* baixo e com grande variação. O LEACH-C demonstra *throughput* alto e estável, demonstrando ser bastante eficiente na entrega de altas taxas de pacotes, em função de seus *clusters* terem formação otimizada devido ao algoritmo de distribuição dos nós em função da localização. O LEACH-M tem *throughput* um pouco mais baixo que o LEACH-C, e é mais estável que o LEACH, porém dentre os 2 protocolos, é o que apresenta maior duração ao longo da linha do tempo.

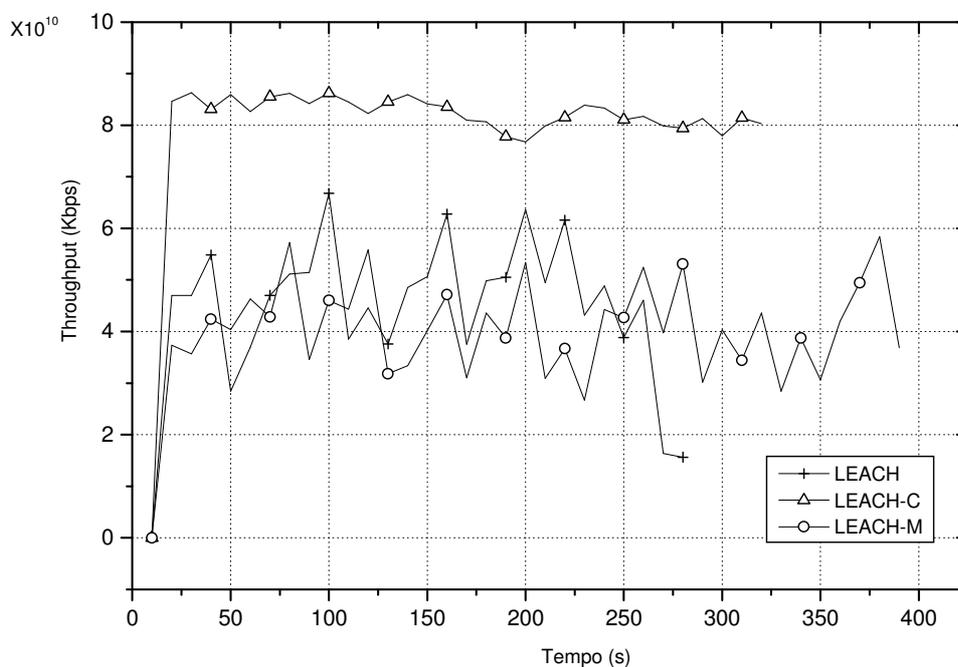


Figura 18: Comparação de Throughput entre os protocolos LEACH, LEACH-C e LEACH-M.

4.2.2 Cenários 1 e 4

Além da simulação com 200 nós, foram realizadas diversas simulações com 100 nós, visando analisar algumas situações específicas. Comparando-se o desempenho dos protocolos entre redes de 100 (cenário com 100m x 100m) e 200 nós (cenário com 200m x 200m), obtiveram-se os seguintes resultados para as métricas: atraso médio, número de pacotes entregues, tempo de vida da rede, *throughput* médio.

Tabela 10: Atraso médio, total de pacotes entregues à base e tempo de vida da rede: comparação entre redes de 100 e 200 nós.

	Atraso Médio		Total de pacotes entregues		Tempo de vida da rede	
	100 nós	200 nós	100 nós	200 nós	100 nós	200 nós
LEACH	0,30 s	0,17 s	27.839	24.239	2.600 s	2.800 s
LEACH-C	0,04 s	0,08 s	18.904	50.344	1.400 s	3.200 s
LEACH-M	0,05 s	0,17 s	42.339	30.273	4.600 s	3.900 s

Pode-se observar na tabela acima que o LEACH-C tem um atraso médio 100% maior na rede com 200 nós, o LEACH-M aumenta seu atraso em 340%, e o LEACH, ao contrário dos demais, diminui seu atraso em 56%.

Com relação à quantidade de dados entregues à estação base pelos 3 protocolos, o LEACH-C que entregou menos pacotes na rede de 100 nós, entregou uma quantidade consideravelmente maior em uma rede de 200 nós. LEACH-M e LEACH entregaram ambos menos pacotes com a rede de 200 nós.

Quanto ao tempo de vida útil das redes, o LEACH manteve praticamente o mesmo tempo de vida da rede. O LEACH-C melhorou seu desempenho com 200 nós, enquanto LEACH-M perdeu um pouco o desempenho. Apesar disso, LEACH-M mostrou-se superior tanto na rede com 100 quanto com 200 nós.

De forma geral o LEACH-C é superior ao LEACH-M, que é superior ao LEACH, no que se refere às medidas de atraso médio e pacotes entregues na base, independente da dimensão da rede. Porém, quanto ao tempo de vida da rede, LEACH-M é sempre superior.

Tabela 11: Tabela demonstrativa dos resultados relacionados ao *Throughput* médio dos protocolos.

	100 nós			200 nós		
	<i>Throughput</i> Normalizado	Variância	Desvio Padrão	<i>Throughput</i> Normalizado	Variância	Desvio Padrão
LEACH	0.81	3.9	1.9	0.55	2.3	1.5
LEACH-C	1	3.6	1.9	1	2.2	1.5
LEACH-M	0.72	9.9	9.9	0.50	1.1	1.1

Os resultados do *throughput* mostram que o LEACH-C apresenta um desempenho mais favorável em ambas as redes, com 100 e 200 nós. LEACH também mostra um bom desempenho, apenas um pouco melhor que o LEACH-M. Pode-se notar que na rede de 100 nós, a variância do LEACH-M é muito maior que a variância de LEACH e LEACH-C, sendo, porém, menor que ambos os 2 protocolos na rede com 200 nós. O mesmo aconteceu com o desvio padrão, na rede com 100 nós teve um valor bem mais alto que o LEACH e LEACH-C, porém na rede maior com 200 nós, o desvio padrão foi bem menor.

4.2.3 Cenários 2 e 3

Além da área de simulação de 100m x 100m, foram simulados mais dois cenários, de 50m x 50m e 200m x 100m, cada um com 100 nós distribuídos aleatoriamente.

Tabela 12: Tabela demonstrativa do atraso médio, total de pacotes entregues à base e tempo de vida da rede.

	Atraso médio		Pacotes entregues à base		Tempo de vida da rede	
	50m x 50m	200m x 200m	50m x 50m	200m x 200m	50m x 50m	200m x 200m
LEACH	0,056 s	0,059 s	48.596	19.719	4.600 s	2.100 s
LEACH-C	0,036 s	0,038 s	66.410	19.216	4.400 s	1.400 s
LEACH-M	0,047 s	0,048 s	45.851	20.416	4.600 s	2.300 s

Em situações adversas, onde o número de nós é bem maior que o tamanho da área (100 nós para uma área de 50m x 50m) ou a área é bem maior que a quantidade de nós (100 nós para uma área de 200m x 200m), o comportamento dos três protocolos analisado foi muito parecido. O atraso médio foi semelhante para todos os casos, não havendo muita variação nos valores de atraso de cada protocolo entre um cenário e outro. Com relação aos pacotes enviados, o desempenho de todos os protocolos é melhor no cenário de 50m x 50m, sendo o LEACH-C mais eficiente nesse cenário, e o LEACH-M melhor no cenário de 200m x 200m. O tempo de vida das redes é bastante semelhante no primeiro cenário, porém no segundo LEACH-M também se apresenta superior aos demais, se mantendo em maior tempo de operação.

De forma geral, uma maior área de cobertura da rede envolve maior gasto de energia para as transmissões, reduzindo o tempo de vida da rede, bem como, o número de pacotes entregues.

Tabela 13: *Throughput* médio, variância e desvio padrão de cada protocolo conforme tamanho da área das redes.

	50m x 50m			200m x 200m		
	<i>Throughput</i> Normalizado	Variância	Desvio Padrão	<i>Throughput</i> Normalizado	Variância	Desvio Padrão
LEACH	0.69	3.3	1.8	0.70	5.7	2.3
LEACH-C	1	1.5	1.2	1	3.7	1.9
LEACH-M	0.66	8.5	9.2	0.66	1.5	1.2

Com relação ao *throughput* LEACH-C apresentou de um modo geral um desempenho superior, LEACH e LEACH-M tiveram um desempenho semelhante para os 2 cenários. A variância e desvio padrão se mostraram bastante altas para o LEACH-M no menor cenário, porém, em 200m x 200m apresenta os menores valores entre os 3 protocolos.

4.2.4 Cenário 5

Visando aprofundar o estudo referente ao número ideal de *clusters* para uma RSSF, foram realizadas simulações com uma rede de 100 nós, um cenário de 100m x 100m, e duas variações da proposta LEACH-M: um LEACH-M com 2 *clusters* e outro com 10 *clusters*. Os resultados podem ser visualizados conforme a tabela a seguir:

Tabela 14: Tabela demonstrativa dos protocolos para uma rede de 100 nós com área de 100m x 100m.

	Atraso médio	Pacotes entregues	Tempo de vida da rede	<i>Throughput</i> Normalizado
LEACH	0,30 s	27.839	2.600 s	0.81
LEACH-C	0,04 s	18.904	1.400 s	1
LEACH-M	0,05 s	42.339	4.600 s	0.72
LEACH-M-2	0,04 s	43.239	8.200 s	0.41
LEACH-M-10	0,10 s	32.438	2.700 s	0.94

Contradizendo a proposta do cálculo do número ideal de *clusters*, apresentada no trabalho do protocolo LEACH, através de simulações pôde-se constatar que o desempenho de uma rede de 100 nós com apenas 2 *clusters* é superior aos demais protocolos, no que diz respeito ao tempo de vida da rede e ao número de pacotes entregues, além de ter o menor valor de atraso médio, o mesmo de LEACH-C. O LEACH-C também apresenta o melhor *throughput*, porém LEACH-M-10 apresenta o segundo melhor desempenho em *throughput*. O LEACH-M apresenta um desempenho intermediário de atraso médio, pacotes entregues e tempo de vida da rede.

O desempenho superior apresentado por LEACH-M-2, principalmente no que se refere ao número de pacotes entregues e tempo de vida da rede, conforme apresentado na tabela 14, pode ser explicado devido ao funcionamento do esquema TDMA proposto para o protocolo LEACH e suas variantes.

Através do esquema TDMA agendado pelos *cluster heads* a cada *round*, são distribuídos os tempos de transmissão intra *cluster*, quando os nós enviam dados ao *cluster head*, que envia à estação base. Porém, o esquema TDMA funciona apenas dentro dos *clusters*, e as transmissões dos *cluster heads* diretamente para a base não tem um esquema de sincronização programado.

Conforme análise das diversas simulações realizadas durante esse trabalho, pode-se considerar que o esquema TDMA utilizado é ineficiente em alguns casos, em função da ocorrência de diversas colisões dentro e fora dos *clusters*, ocasionando perda de pacotes enviados, consumo excessivo de energia e atraso na entrega dos pacotes à base. Dois casos constatados, que ocorrem seguidamente durante as simulações com o LEACH: colisões de pacotes quando um nó comum de dentro do *cluster* tenta transmitir para o *cluster head*, e o mesmo já está ocupado tentando transmitir para a estação base pacotes recebidos anteriormente; e o caso de quando um *cluster head* tenta transmitir um pacote à estação base e há colisão com pacotes de *cluster heads* vizinhos que tentam transmitir para a base no mesmo momento.

No LEACH todos os nós da rede iniciam um ciclo ao mesmo tempo, mas não é especificado como obter este grau de sincronização na rede. Para uma rede que está em atividade durante um longo período, qualquer falha no sincronismo pode fazer com que os nós comecem um novo ciclo em momentos inoportunos, o que pode também ocasionar diversas colisões de pacotes.

Havendo essas falhas de sincronismo na transmissão dos pacotes, o risco de colisões é bastante alto, o que explica o protocolo com o menor número de *clusters*, no caso o LEACH-M-2, apresentar melhores resultados nas simulações. Quanto mais simplificado for o esquema TDMA, mais facilitadas serão as transmissões, e menores os riscos de colisão.

Na figura 19 pode-se visualizar os tipos de colisão que podem ocorrer durante a transmissão dos pacotes. Primeiramente, pode-se analisar um exemplo de colisão intra *cluster*, quando o nó A tenta transmitir os pacotes para o *cluster head* 3, e o mesmo já está em processo de transmissão de pacotes para a estação base. A consequência dessa ação será um erro na transmissão do nó A para o *cluster head* 3, que não pode receber pacotes enquanto transmite para a base. O segundo exemplo é a colisão inter *cluster*, que ocorre quando o

cluster head 1 e o *cluster head 2* transmitem simultaneamente pacotes para a estação base, porém os pacotes colidem antes de atingir seu destino final.

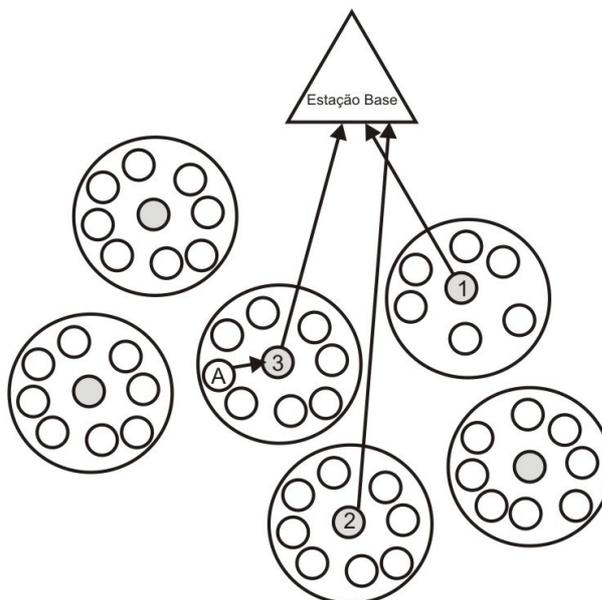


Figura 19: Transmissão de pacotes dos *clusters* para a estação base, demonstrando os dois tipos de colisões existentes: *inter cluster* e *intra cluster*.

O gráfico abaixo apresentado é um pequeno trecho de resultados extraídos das simulações realizadas com o protocolo LEACH, representando todas as transmissões efetuadas pelos nós do *cluster* para o *cluster head*, dentro do intervalo de tempo (em segundos) 117 e 118 da simulação, onde houve 15 transmissões de pacotes. É possível notar a sobreposição de transmissões diferentes entre os intervalos 117,50 e 117,80, havendo colisão bastante evidente entre os instantes 117,60 e 117,70. Note-se que o intervalo de tempo apresentado é bastante pequeno, podendo haver colisões muito maiores e evidentes, em trechos maiores de transmissão de pacotes.

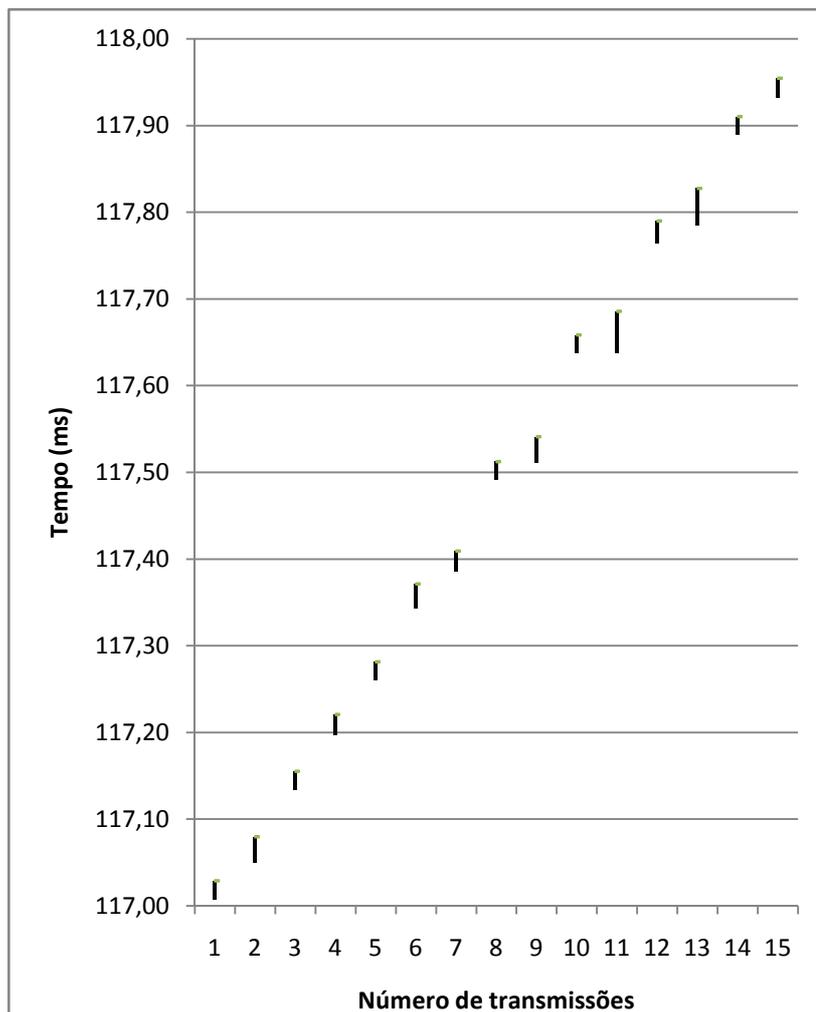


Figura 20: Transmissão de pacotes em janela de tempo entre o instante 117 e 118 da simulação do protocolo LEACH. Podem-se constatar as colisões em alguns intervalos, durante as 15 transmissões efetuadas no período.

O capítulo a seguir conclui este trabalho e apresenta uma discussão sobre as vantagens e desvantagens da proposta LEACH-M.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÃO

A seguir são apresentadas as conclusões do trabalho, após a análise dos resultados das simulações. São discutidos os resultados obtidos e o desempenho dos protocolos estudados, assim como a indicação de aplicações correspondentes ao comportamento de cada um. São sugeridas algumas propostas de trabalhos futuros, visando a continuidade deste trabalho.

5.1 REVISÃO DOS OBJETIVOS E DIFICULDADES ENCONTRADAS

A proposta inicial deste trabalho era estudar as características de protocolos de roteamento para RSSFs, com foco em roteamento baseado em *clusters*, tomando-se como base o protocolo LEACH. Além desse estudo, também foi proposto analisar as possíveis falhas no desempenho do protocolo e apresentar sugestões de modificações que pudessem proporcionar melhoria de desempenho.

Os objetivos propostos inicialmente foram alcançados, o protocolo LEACH e sua variante LEACH-C foram analisados através de simulações, sendo apresentado o LEACH-M, uma proposta de modificação do LEACH em alguns aspectos, principalmente a passagem do modelo probabilístico original para o modelo determinístico proposto, e a modelagem do número de *clusters* ideal para cada tamanho de rede.

As simulações desenvolvidas para este trabalho apresentaram resultados mais amplos que as feitas inicialmente com o LEACH, pois foram adicionadas as métricas de *throughput* e atraso médio, as quais não haviam sido analisadas no trabalho inicial do LEACH.

Além disso, a verificação de falhas no esquema TDMA utilizado pelo LEACH para transmissão de dados à estação base foi além do proposto inicialmente, sendo um importante estudo realizado no decorrer das simulações, e conclusões extraídas a partir dos resultados dos estudos e comparações realizadas. A partir deste estudo, novas propostas poderão ser

apresentadas para minimizar estas falhas, sendo uma das importantes contribuições deste trabalho.

Houve diversas dificuldades durante a realização deste trabalho, devido à falta de informações adequadas sobre o modo de operação do protocolo no simulador NS-2 e a total falta de documentação sobre o assunto. A instalação dos módulos necessários para realizar as simulações foi feita baseada em tentativas e erros, e as poucas informações obtidas foram encontradas através de buscas na internet. Deste modo, ao final deste trabalho, uma das contribuições será um módulo pronto que permite instalar o NS-2 e o módulo do LEACH sem realizar mudanças em bibliotecas e atualizar pacotes de software.

5.2 DISCUSSÃO

O algoritmo LEACH surgiu como uma das mais relevantes propostas de roteamento para RSSFs baseada em *clusters*. O trabalho foi amplamente estudado por diversos pesquisadores desde sua criação, sendo objeto de comparação de desempenho entre diversos outros protocolos e inspiração para a criação de outros. Porém, através de pesquisa bibliográfica prévia constatou-se que até então, o algoritmo original não havia sido modificado, ao não ser pelos próprios autores do trabalho, que ao criarem o LEACH já apresentaram alternativas às falhas encontradas.

Ao comparar o LEACH com diversos outros protocolos, este se mostra superior em alguns aspectos, sendo uma boa alternativa para roteamento em RSSFs, principalmente no que diz respeito ao controle do consumo de energia, sempre visando o aumento do tempo de vida útil da rede.

O LEACH-M possui o diferencial de ser uma proposta de modificação do próprio algoritmo LEACH, uma proposta diferente do que até então vinha sendo desenvolvido.

Durante as simulações com os diversos cenários e redes, foi possível constatar de forma mais detalhada o desempenho dos protocolos LEACH, LEACH-C e LEACH-M.

De um modo geral, o LEACH-M apresentou um desempenho superior aos demais protocolos em termos de consumo reduzido de energia e tempo de vida da rede em todas as

simulações realizadas. Este fato pode ser associado à questão da escolha determinística dos nós que serão *cluster heads* em cada *round*. Enquanto LEACH e LEACH-C baseiam-se em probabilidades, LEACH-M trabalha com um grau de precisão maior, possibilitando sua rede ter um tempo de vida mais longo e um consumo de energia ser mais estável. Isso pode ser visualizado nos gráficos de consumo de energia e de mortalidade dos nós. Como a métrica relacionada à energia é sempre muito importante quando se trata do desempenho de RSSFs, pode-se afirmar que LEACH-M obteve sucesso em sua proposta de melhoria de desempenho com relação à LEACH e LEACH-C.

Conforme as simulações também se constatou que LEACH-C é um protocolo ideal para situações em que há a necessidade de envio de pacotes à altas taxas, com um *throughput* alto e pouco atraso na entrega dos pacotes. O LEACH mantém um desempenho intermediário, com *throughput* médio e tempo de vida da rede razoável.

Em RSSFs, uma proposta ideal de protocolo de roteamento é aquela desenvolvida a partir do modelo de aplicação da rede, sendo possível identificar todas as necessidades da aplicação e propor um protocolo que possa suprir essas necessidades.

Pode-se sugerir, concluindo o estudo realizado ao longo deste trabalho, algumas aplicações e protocolos correspondentes, conforme apresentado na tabela 13.

Tabela 15: Aplicações e protocolos de roteamento indicados.

Aplicação	Protocolo sugerido
Redes com necessidades intermediárias, que precisem de <i>Throughput</i> de médio a alto, nível médio de entrega de pacotes, tempo médio de duração da rede. Aplicações industriais, por exemplo, demandam de transferência periódica de dados, porém não demandam alto desempenho. As redes também podem ter um tempo de duração menor, pois podem ter manutenção visto que não estão em áreas tão isoladas.	LEACH
Monitoramento constante do ambiente, onde os nós coletam os dados continuamente e há a demanda de envio de pacotes com um bom desempenho da rede, <i>throughput</i> alto e pouco atraso na entrega dos pacotes. Por exemplo, aplicações de monitoramento de tráfego de veículos em rodovias, ou aplicações militares com envio constante de dados.	LEACH-C
Aplicações que demandam um longo tempo de vida da rede, que garanta a entrega de muitos pacotes ao longo do tempo e os nós da rede tenha uma mortalidade gradual, com coleta periódica dos dados, bastante economia de energia e onde o <i>throughput</i> não precise ser alto. Por exemplo, monitoramento ambiental como oceanos, florestas e ecossistemas.	LEACH-M

5.3 TRABALHOS FUTUROS

Diversos estudos podem ser realizados a partir dos protocolos LEACH e LEACH-M. Primeiramente, pode-se pensar em um esquema de eleição de *cluster heads* onde seja possível balancear o número de nós comuns em cada *cluster*, evitando assim que alguns *clusters* fiquem muito grandes e outros muito pequenos.

O modelo de tráfego implementado nos *scripts* do NS-2 que compõe o pacote do LEACH corresponde ao modelo de tráfego CBR (*Constant bit rate*). Tal tipo de tráfego

parece ser mais apropriado para modelar situações de coleta periódica de dados. Uma das idéias iniciais deste trabalho correspondia em obter o desempenho dos diversos protocolos à medida que a carga da rede (taxa de tráfego) fosse adequada. Infelizmente tais gráficos, de grande valor para a análise dos protocolos, não puderam ser obtidos por dificuldades no entendimento de como o tráfego é gerado no pacote LEACH. A superação desta dificuldade, aliada à inclusão de um modelo de tráfego VBR (*variable bit rate*) permitiria um ganho significativo em termos de análise do comportamento dos vários protocolos.

Um estudo importante pode ser realizado sobre o modelo de acesso ao meio e as diversas colisões detectadas durante as transmissões de pacotes, dentro e fora dos *clusters*, pois se estas puderem ser minimizadas, o desempenho dos protocolos será ainda mais eficiente. Pode-se pensar em esquemas TDMA inter *cluster*, visando agendar as transmissões de cada *cluster* para a estação base, evitando assim que os pacotes colidam se transmitidos ao mesmo tempo. Além disso, o esquema TDMA intra *cluster* deve ser repensado, pois foi possível perceber diversas falhas onde houve colisões de dados. A falha mais grave ocorreu quando um nó comum tentou transmitir um pacote para o *cluster head* ao mesmo tempo que este tentava transmitir pacotes à estação base. Ficou visível que o *cluster head* não tem um agendamento de transmissões, e pode transmitir ao mesmo tempo que está recebendo pacotes de algum nó em seu *cluster*. Talvez o modelo TDMA devesse ser repensado, podendo-se adotar um novo esquema para transmissão dos pacotes. Ou criar um esquema TDMA independente intra e inter *clusters*, que permitisse um agendamento satisfatório das tarefas de envio e recepção de dados.

Seria também interessante testar os protocolos com uma configuração de hardware existente, e não apenas com hardware genérico, como foi feito até então. Assim, em condições normais e não ideais, seria possível avaliar melhor o desempenho dos protocolos.

A partir da realização deste trabalho, será possível melhorar ainda mais o LEACH-M, assim como também poderão ser criados novos protocolos inspirados nesse modelo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABU-GHAZALEH, N.B., HEINZELMAN, W TILAK, S.,: A taxonomy of wireless micro-sensor network models. **ACM Mobile Computing and Communications Review (MC2R)** 6 (2002) 28–36

AGRAWAL, D.P., MANJESHWAR, A.: “**A Routing Protocol for Enhanced Efficiency in Wireless Sensor Networks**”. Parallel and Distributed Processing Symposium., Proceedings 15th International, April 2001.

AGRAWAL, D.P., MANJESHWAR, A.: “**APTEEN: A Hybrid Protocol for Efficient Routing and Comprehensive Information Retrieval in Wireless Sensor Networks**”. Parallel and Distributed Processing Symposium., Proceedings International, IPDPS 2002, April 2002

AILAWADHI, V., GAO, J., POTTIE, G.J., SOHRABI, K.: Protocols for self-organization of a wireless sensor network. **IEEE Personal Communications**, 7:16–27, October 2000.

AKYILDIZ, I.F., CAYIRCI, E. SANKARASUBRAMANIAM, Y, SU, W.: Wireless sensor networks: A survey. **Computer Networks**, 38:393–422, March 2002.

AKYILDIZ, I. F., SU, W., SANKARASUBRAMANIAM, Y., E CAYIRICI, E. A survey on sensor networks. **Communications of the ACM** (agosto de 2002), 102–114.

BALAKRISHNAN, HEINZELMAN, W., H KULIK, J.: Negotiation-based protocols for disseminating information in wireless sensor networks. **Wireless Networks** 8 (2002) 169–185

BAKER, D., EPHREMIDES, A., FLYNN, J.: “The Design and Simulation of a Mobile Radio Network with Distributed Control”. **IEEE Journal on Selected Areas in Communications**, 2(1):226{237, January 1984.

BAMBOS. N., SCOTT, K.: "Routing and Channel Assignment for Low Power Transmission in PCS". **5th IEEE Int. Conf. on Universal Personal Communications**, volume 2, pages 498{502, September 1996.

BAMBOS. N., SCOTT, K.: "**The Self-Organizing Wireless Adaptive Network (SWAN) Protocol for Communication Among Mobile Users**". In Proceedings of the IEEE Globecom '95, 1995.

BARRENECHEA, G., SERVETTO, S.D.: "Constrained random walks on random graphs: routing algorithms for large scale wireless sensor networks", In **Proceedings of the First ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications**, Atlanta, Georgia, USA, ACM Press, ISBN 1-58113-589-0, pp 12-21, 2002, <http://doi.acm.org/10.1145/570738.570741>.

BHAGWAT, P., PERKINS, C.: "Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers". **Proceedings of the SIGCOMM '94 Conference on Communications Architectures**, Protocols and Applications, pages 234{244, August 1994.

BLUETOOTH. <http://www.bluetooth.com/>, 2002.

BROCH, J., HU, Y., JETCHEVA, J., JOHNSON, D., MALTZ, D.: "**A Performance Comparison of Multi-Hop Wireless Ad Hoc Netowrk Routing Protocols**". In Proc. 4th ACM International Conference on Mobile Computing and Networking (Mobicom'98), October 1998.

CESAR, C.C., FARIAS, A. A., SOARES, J F.: **Introdução à estatística**. R.J.: Livros Técnicos e Científicos S/A, 1991. 376 p.

ESTRIN, D., GOVINDAN, R., INTANAGONWIWAT, C.: Directed diffusion: A scalable and robust communication paradigm for sensor networks. In: **Proceedings of the 6th ACM International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom'00)**, Boston, MA, USA, ACM Press (2000) 56–67

ESTRIN, D., GANESAN, D., GOVINDAN, R., SHENKER, S.: Highly-resilient, energy-efficient multipath routing in wireless sensor networks. **ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review** 5 (2001) 11–25

ESTRIN, D., GOVINDAN, R., YU, Y.: and “**Geographical and energy aware routing: A recursive data dissemination protocol for wireless sensor networks**”. (2001). Technical Report UCLA/CSD-TR-01-0023, UCLA Computer Science Department.

ESTRIN, D., GANESAN, D., GOVINDAN, R., SHENKER, S.: “High-resilient, energy-efficient multipath routing in wireless sensor networks, **ACM Mobile Computing and Communications Review**, vol. 5, pp 11-29, 2001.

ETTUS, M.: “System capacity, latency, and power consumption in multihop-routed SS-CDMA wireless networks,” in **Proc. Radio and Wireless Conference (RAWCON)**, Colorado Springs, CO, Aug. 1998, pp. 55–58.

GARCIA-MOLINA, HUANG, Y.: “Publish/Subscribe in a mobile environment”, In **International Workshop on Data Engineering for Wireless and Mobile Access**, 2001, pp 27-34.

GARG, V., WILKES. J.: “**Wireless and Personal Communications Systems**”. Prentice Hall PTR, New Jersey, 1996.

GERLA. M., KWON, T.: “Clustering with Power Control”. In **Proceedings MILCOM '99**, volume 2, November 1999.

GERLA, M., LIN, C.: “Adaptive Clustering for Mobile Wireless Networks”. **IEEE Journal on Selected Areas in Communications**, 15(7):1265{1275, September 1997.

GRISWALD, .MARTIN,R., NEAR, R., RUPPE, R., WALSH, P.: “Term Digital Radio (NTDR) System” .In **Proceedings MILCOM '97**, volume 3, pages 1282{1287, November 1997.

HALL, D., L., LLINAS, J., An introduction to multi-sensor data fusion. **Proceedings of the IEEE**, 85(1):6–23, January 1997.

HEINZELMAN, W. BALAKRISHNAN, H., CHANDRAKASAN, A.: “**Energy-efficient communication protocols for wireless microsensor networks**”. In: Proceedings of the Hawaiian International Conference on Systems Science (HICSS), Maui, Hawaii, USA (2000).

HEINZELMAN, W., BALAKRISHNAN, H., CHANDRAKASAN, A.: An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks. **IEEE Transactions on Wireless Communications**, Vol. 1, No. 4, October 2002, pp. 660-670.

HOMERF. <http://www.homerf.org/>, 2002.

HU, L.: “Distributed code assignments for CDMA packet radio networks,” **IEEE/ACM Trans. Networking**, vol. 1, pp. 668–677, Dec. 1993.

HUITEMA, C.: **Routing in the Internet**. Prentice Hall, 1996.

IEEE 1451 <http://iee1451.nist.gov/>

IEE 802.11 <http://grouper.ieee.org/groups/802/11/main.html>

ISHIBUCHI, H., MURATA, T.: “Performance evaluation of genetic algorithms for flowshop scheduling problems,” **Proc. 1st IEEE Conf. Evolutionary Computation**, vol. 2, pp. 812–817, June 1994.

KARLOF, C.; WAGNER, D. Secure routing in wireless sensor networks:attacks and countermeasures. **First IEEE International Workshop on Sensor Network Protocols and Applications**, p. 113–127, Maio 2003. Disponível em: <<http://citeseer.ist.psu.edu/article/karlof02secure.html>>.

LEVESQUE, A., PAHLAVAN, K.: **Wireless Information Networks**. John Wiley & Sons, Inc., New York, 1995.

LIN, X., STOJMENOVIC. I.: “**Power-Aware Routing in Ad Hoc Wireless Networks**”. In SITE, University of Ottawa, TR-98-11, December 1998.

LINDSEY, S., E RAGHAVENDRA, C. S. “**Pegasis: Power efficient gathering in sensor information systems**”. *International Conference on Communications* (2001).

LOUREIRO, A. A. F., MINI, R.A.F, NOGUEIRA, J. M. S., RUIZ, L. B.: **“Redes de Sensores Sem Fio”**, Curso da XXI Jornada de Atualização em Informática, XXII Congresso da SBC, Florianópolis, SC, Julho de 2002.

LOUREIRO, A. A. F., NOGUEIRA, J. M. S., RUIZ, L. B.: Manna: A management architecture for wireless sensor networks. **IEEE Communications Magazine**, 41(2):116–125, February, 2003.

LOUREIRO, A. A. F., NOGUEIRA, J. M. S., RUIZ, L. B.: (2003). Functional and information models for the manna architecture. **GRES03 - Colloque Francophone sur la Gestion de Reseaux et de Services**, pages 455.470.

LOUREIRO, A. A. F., MINI, R. A. F., NATH, B.: **“Prediction-based approaches to construct the energy map for wireless sensor networks”**. In 21o Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores, Natal, RN, Brasil, Maio 2003.

MASSAD, E., MENEZES, R.X., SILVEIRA, P.S.P, ORTEGA, N.R.S: **Métodos quantitativos**, 1ª edição. Barueri: Editora Manole, 2004. Pág 23.

MCDONALD, A., ZNATI, T.: **“A Mobility-Based Framework for Adaptive Clustering in Wireless Ad Hoc Networks”**. **IEEE Journal on Selected Areas in Communications**, 17(8):1466{1486, August 1999.]

MENG, T., VOLKAN, R.: **“Distributed Network Protocols for Wireless Communication”**. In Proc. IEEE ISCAS, May 1998.

MIT uAMPS Project: [http:// www.mtl.mit.edu/research/icsystems/uamps.html](http://www.mtl.mit.edu/research/icsystems/uamps.html), 1999

PARK, S., SRIVASTAVA, M.: **“Power Aware Routing in Sensor Networks using Dynamic Source Routing”**. In ACM MONET Special Issue on Energy Conserving Protocols in Wireless Networks, 1999.

PERKINS, C., ROYER, E: **“Ad-Hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing”**. In **Proceedings of the Second IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications (WMCSA '99)**, pages 90{100, 1999.

RAGHAVENDRA, C.S, SINGH, S., WOO, M.: “Power-Aware Routing in Mobile Ad Hoc Networks”. In **Proceedings of the Fourth Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom '98)**, October 1998.

RUIZ, L. B.. “Uma arquitetura para o gerenciamento de redes de sensores sem fio”. Technical Report DCC/UFMG RT.005/2002, Departamento de Ciência da Computação da Universidade Federal de Minas Gerais, 2002.

SCAGLIONE, A., SERVETTO, S.D.: “On the interdependence of routing and data compression in multihop sensor networks”, In **Proceedings of the Eighth Annual International Conference on Mobile Computing and Networking**, Atlanta, Georgia, USA, ACM Press, 2002, pp 140-147.

UCB/LBNL/VINT **Network Simulator – NS2** [Online]. Available: <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>, 1995

RESUMO

Um dos fatores mais relevantes para o bom desempenho operacional de uma Rede de Sensores sem Fio (RSSF) é a escolha correta do algoritmo de roteamento, em função das características da rede, da aplicação que se deseja desenvolver e dos objetivos do monitoramento. Existem diversos tipos de abordagens para efetuar o roteamento, dentre as mais conhecidas pode-se citar o roteamento *multi-hop* e algoritmos com formação em *clusters*. O Protocolo LEACH usa uma arquitetura baseada em *clusters* onde os nós membros enviam seus dados para o *cluster-head* local, que agrega os dados de cada sensor e envia esta informação para a estação base. O LEACH usa rotação do *cluster head* para distribuir a carga de energia. Uma vez que os *clusters* são formados, os membros do *cluster* usam a abordagem TDMA para comunicar com o *cluster head*. O LEACH é portátil para redes onde todo nó tem dados para enviar em intervalos regulares. Entretanto, modificações em seu conceito original para melhoria de desempenho sempre podem ser propostas. O objetivo deste trabalho é apresentar uma proposta denominada LEACH-M, onde, através de estudo e análise de desempenho via simulação foram propostas algumas modificações que apresentam melhorias em aspectos como aumento da vida útil da rede, atraso médio da entrega dos dados e *throughput*. Diversas considerações são feitas, levando-se em conta o modelo original do protocolo e as alterações desenvolvidas no decorrer do estudo.

PALAVRAS-CHAVE

Redes de sensores sem fio, Protocolos, Roteamento, Desempenho, Simulação, LEACH.

ÁREA/SUB-ÁREA DE CONHECIMENTO

3.04.00.00 – 7 Engenharia Elétrica

3.04.06.03 – 0 Sistemas de Telecomunicações

Ano 2007

N^o: 455

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)