

*Técnicas de Encaminhamento de Pacotes  
Baseadas em Menor Atraso e Nível de Consumo  
de Energia para Redes de Aplicação Médica*

**Ronaldo Plovas**

Julho / 2016

Dissertação de Mestrado em Ciência da Computação

# **Técnicas de Encaminhamento de Pacotes Baseadas em Menor Atraso e Nível de Consumo de Energia para Redes de Aplicação Médica**

Esse documento corresponde a Dissertação de Mestrado apresentado à Banca Examinadora para obtenção de título de Mestrado em Ciência da Computação da Faculdade Campo Limpo Paulista.

Campo Limpo Paulista, 14 de Julho de 2016.

Ronaldo Plovas

Shusaburo Motoyama (Orientador)

**Faculdade Campo Limpo Paulista**  
**Programa de Mestrado em Ciência da Computação**

**“Técnicas de Encaminhamento de Pacotes Baseadas em Menor Atraso e Nível de Consumo de Energia para Redes de Aplicação Médica”**

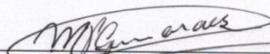
Ronaldo Plovas

Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Mestrado em Ciência da Computação da Faculdade Campo Limpo Paulista, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação.

Membros da Banca:



Prof. Dr. Shusaburo Motoyama  
(Orientador –FACCAMP)



Prof. Dr. Marcelo de Paiva Guimarães  
(FACCAMP)



Prof. Dr. Mauricio Ferreira Magalhães  
(UNICAMP)

Campo Limpo Paulista, 14 de julho de 2016.

## FICHA CATALOGRÁFICA

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Câmara Brasileira do Livro, São Paulo, Brasil.

Plovas, Ronaldo

Técnicas de encaminhamento de pacotes baseadas em menor atraso e nível de consumo de energia para redes de aplicação médica / Ronaldo Plovas. Campo Limpo Paulista, SP: FACCAMP, 2016.

Orientador: Prof<sup>o</sup>. Dr. Shusaburo Motoyama  
Dissertação (Programa de Mestrado em Ciência da Computação) – Faculdade Campo Limpo Paulista – FACCAMP.

1. Wireless body area network – WBAN. 2. Rede corporal de sensores sem fio. 3. OMNeT++. 4. RFID. 5. Internet das coisas – Internet of things (IoT). I. Motoyama, Shusaburo. II. Campo Limpo Paulista. III. Título.

CDD-629.895

## **Agradecimentos**

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por ser essencial em minha vida, autor de meu destino, pelas oportunidades que me proporcionou e pela força e determinação para superar todos os obstáculos que surgiram diante desta jornada.

Ao meu pai Albino Plovas e minha mãe Marta Plovas (em memória) pelo amor, e dedicação incondicional, sendo fonte de inspiração em minha vida.

Em especial ao apoio inigualável do meu orientador o Prof. Dr. Shusaburo Motoyama, pelo incentivo à realização dessa dissertação, com sua imensa dedicação, boa vontade, grande paciência e vasto conhecimento e sabedoria.

Ao coordenador do curso Prof. Dr. Osvaldo Luiz de Oliveira, por acreditar e sempre incentivar, estando sempre a disposição, trazendo esclarecimentos necessários durante o curso.

Aos professores, funcionários e colegas do Programa de Mestrado em Ciência da Computação da FACCAMP.

“O que prevemos raramente ocorre; o que menos esperamos geralmente acontece.” (Benjamin Disraeli)

**Resumo.** São propostas, nesta dissertação, duas técnicas de encaminhamento de pacotes baseadas em caminhos de menores atrasos para redes de aplicações médicas. Na primeira técnica, é utilizada a quantidade de pacotes armazenados em buffer de cada nó como peso para calcular, através do algoritmo de Dijkstra, o caminho de menor atraso dentro da rede. Dois modos diferentes de atribuições de peso são estudados nesta primeira técnica. No primeiro modo, é feita uma atribuição fixa de peso, isto é, utiliza-se o conceito de gatilho, no qual quando a quantidade de pacotes no buffer fica acima do valor do gatilho, a tabela de roteamento é atualizada, e novos caminhos de menores atrasos são calculados. No outro modo de atribuição de peso, é utilizado o mesmo conceito de gatilho, mas os valores de pesos, neste caso, variam de acordo com a ocupação do buffer. Na segunda técnica proposta, para o cálculo de caminho de menor atraso, leva-se em conta, também, o nível de consumo de energia de cada nó. Neste caso, além da atribuição do peso de acordo com a ocupação do buffer, uma outra atribuição de acordo com o nível de energia disponível em cada nó é acrescentada ao peso. Essas duas técnicas de encaminhamento são estudadas através da simulação, utilizando o pacote de software OMNeT++, e os seus desempenhos são comparados com a técnica de encaminhamento por caminho mais curto ou menor número de saltos, que é adotada na maioria das redes atuais. Os resultados obtidos mostram que as técnicas propostas conseguem encaminhamentos melhores em relação aos atrasos totais dentro da rede, mostrando que são mais adequadas para redes que necessitam tratamento de pacotes em tempo real como redes de aplicações médicas.

**Abstract:** Two routing techniques based on least delay path for medical application networks are proposed in this dissertation. In the first technique, the amount of packets buffered in each node is used as weight to calculate, through the Dijkstra algorithm, the path of least delay within the network. Two different modes of weight attributions are studied in this first technique. In the first mode, a fixed attribution of weight is made, i.e., the trigger concept is used, in which when the number of packets in the buffer is above a trigger value, the routing table is updated, and new least delay paths are calculated. In other weight attribution mode, the same trigger concept is used, but the weight values, in this case, vary according to the buffer occupancy. In the second proposed technique, for the calculation of least delay path, it is also taken into account the power consumption level of each node. In this case, in addition to the attribution of the weight according to the buffer occupancy, another attribution according to the level of power available in each node is added to weight. These two routing techniques are studied by simulation using the software package OMNeT ++, and their performances are compared to the shortest path routing technique or smaller number of hops, which is adopted in most of nowadays networks. The results show that the proposed techniques can get better routing paths in relation to the network total delays, showing that they are better suited for networks requiring a real-time packet treatment as in medical application networks.

## Sumário

Capítulo 1.	Introdução .....	1
1.1.	Objetivos .....	4
1.2.	Contribuição.....	4
1.3.	Organização .....	4
Capítulo 2.	IoT em Redes de Aplicação Médica .....	6
2.1.	Introdução .....	6
2.2.	Rede de Aplicação Médica .....	7
2.3.	Conclusões .....	9
Capítulo 3.	Técnicas de Encaminhamento.....	10
3.1.	Introdução .....	10
3.2.	DSDV – Destination-Sequenced Distance-Vector.....	10
3.3.	GSR – Global State Routing .....	11
3.4.	FSR – Fisheye State Routing .....	12
3.5.	WRP – Wireless Routing Protocol.....	13
3.6.	HSR – Hierarchical State Routing .....	13
3.7.	ZHLS – Zone-based Hierarchical Link State.....	15
3.8.	CGSR- Clusterhead Gateway Switch Routing.....	16
3.9.	HDP – Height Distance and Power Consumption Algorithm.....	17
3.10.	GBR – Gradient Based Routing.....	18
3.11.	LEACH – Low-Energy Adaptative Clustering Hierarchy .....	18
3.12.	LCM – Link-aware Clustering Mechanism .....	19
3.13.	LCH – Linear Cluster Handling.....	20
3.14.	DRINA – Data Routing In-Network Aggregation .....	21
3.15.	EEDRINA – Energy Efficient Data Routing In-Network Aggregation.....	21
3.16.	Conclusões .....	22

Capítulo 4.	Encaminhamento de Pacotes por Menor Atraso .....	23
4.1.	Introdução .....	23
4.2.	A Técnica Proposta.....	23
4.3.	Simulador de Eventos Discretos OMNeT++ .....	25
4.4.	Exemplo de Aplicação de Encaminhamento de Menor Atraso.....	30
4.5.	Conclusões .....	42
Capítulo 5.	Encaminhamento de Pacotes Considerando Consumo Energético dos Nós.....	43
5.1.	Introdução .....	43
5.2.	Estudo do Consumo Energético no Encaminhamento de Pacotes .....	43
5.3.	Técnica de Encaminhamento Baseada em Menor Atraso e Consumo Energético .....	48
5.4.	Conclusão.....	55
Capítulo 6.	Conclusões e Trabalhos Futuros .....	56
6.1.	Trabalhos Futuros .....	57
Referências	.....	58
Anexo I. Publicações da Dissertação.....		61
1. Artigo apresentado no XI Workshop de Computação da FACCAMP .....		61
1.1. Comprovante de aceitação do artigo.....		61
1.2. Artigo submetido .....		63
2. Artigo aceito pela ICWN'16.....		68
2.1. Comprovante de aceitação do artigo.....		68
2.2. Artigo aceito .....		70

## Glossário

3G/4G	Famílias de padrões para comunicação de telefonia móvel
Ad Hoc	Rede de dados onde a comunicação é realizada entre os nós de forma direta, sem controle centralizado no envio de mensagens
CDMA	<i>Code Division Multiple Access</i> – Acesso Múltiplo por Divisão de Código
CGSR	<i>Clusterhead Gateway Switch Routing</i>
GBR	<i>Gradient Based Routing</i>
HDP	<i>Height Distance and Power consumption algorithm</i>
IoT	<i>Internet of Things</i> –Internet das coisas
LCC	<i>Least Cluster Change</i>
M/M/1	Chegadas Markovianas, Atendimento Markoviano , 1 servidor
MRL	<i>Message Retransmission List</i>
RF	Rádio Frequência
RFID	<i>Radio Frequency Identification</i>
RSSF	Rede de Sensores Sem Fio
Rx	Recebe dados
<i>Sink</i>	Nó concentrador de informações dos sensores
TDMA	Time Division Multiple Access - Acesso Múltiplo por Divisão de Tempo
Tx	Transmite dados
WBAN	Wireless Body Area Network - Rede sem Fio de Uso Corporal
WIFI	Wireless Fidelity - Fidelidade sem Fio
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i> . Rede de área local sem-fio
WMAN	<i>Wireless Metropolitan Area Network</i> . Redes Metropolitanas Sem Fio. Esse escopo se refere a redes metropolitanas: redes de uso corporativo que atravessam cidades e estados
WPAN	<i>Wireless Personal Area Network</i> . Rede sem fio pessoal
WRP	Wireless Routing Protocol
WWAN	<i>Wireless Wide Area Network</i> . Rede de longa distância sem fio. É uma tecnologia que principalmente as operadoras de celulares utilizam para criar a sua rede de transmissão (CDMA, GSM, etc)

## Lista de Figuras

Figura 1. Sensores sem Fio .....	1
Figura 2. Rede de Sensores sem Fio (Adaptado de <a href="https://www.quora.com">https://www.quora.com</a> ).....	2
Figura 3. Rede Corporal de Sensores sem Fio (Adaptado de <a href="http://www.eetimes.com">http://www.eetimes.com</a> ) .....	3
Figura 4. Internet das Coisas (fonte: <a href="http://www.dcomercio.com.br/">http://www.dcomercio.com.br/</a> ).....	6
Figura 5. Configuração Geral com a Rede de Aplicação Médica .....	7
Figura 6. Rede de Aplicação Médica em Destaque.....	8
Figura 7. Exemplo de Rede Baseada em FSR - A precisão das informações é reduzida para os nós que estejam nas bordas da rede (Adaptado de Misra 1999).....	12
Figura 8. Exemplo de Encaminhamento em Cluster HSR (Adaptado de Misra 1999).....	14
Figura 9. Exemplo de Encaminhamento CGSR do nó 1 ao nó 12 (Adaptado de Misra 1999)....	16
Figura 10. Exemplo do Uso do Algoritmo de Dijkstra na procura do caminho de menor peso entre os vértices do nó s ao nó z (fonte: <a href="http://www.heptargon.de">www.heptargon.de</a> ) .....	25
Figura 11. Módulos Simples e Módulo Composto (Adaptado de <a href="https://omnetpp.org">https://omnetpp.org</a> ) .....	27
Figura 12. Visão Geral da IDE do OMNeT++ baseada em Eclipse.....	28
Figura 13. Visão Geral da Interface Tkenv .....	29
Figura 14. Primeira Topologia de Rede Utilizada Neste Trabalho .....	31
(Adaptado de Schurgers e Srivastava, 2001).....	31
Figura 15. Tempo total de atraso de cada pacote da origem até o <i>sink</i> para encaminhamento por caminho de menor número de pulos .....	32
Figura 16. Vista expandida do tempo total de atraso de cada pacote da origem até o <i>sink</i> durante os 6 segundos iniciais de simulação.....	33
Figura 17. Médias gerais de atraso de cada pacote da origem até o <i>sink</i> para encaminhamento por caminho de menor número de pulos .....	34
Figura 18. Tempo total de atraso de cada pacote da origem até o <i>sink</i> para encaminhamento de menor atraso de peso fixo.....	34
Figura 19. Média geral de atraso dos pacotes da origem até o <i>sink</i> para encaminhamento de menor atraso de peso fixo.....	35

Figura 20. Tempo total de cada pacote da origem até o <i>sink</i> para encaminhamento por menor atraso de peso variável .....	38
Figura 21. Média geral de atraso dos pacotes da origem até o <i>sink</i> para encaminhamento por menor atraso de peso variável .....	39
Figura 22. Segunda topologia de rede utilizada neste trabalho .....	40
(Adaptado de Suhonen, Hämäläinen e Hännikäinen , 2009) .....	40
Figura 23. Tempo total de atraso de cada pacote da origem até o <i>sink</i> . Este gráfico representa um resultado típico para os três tipos de encaminhamentos.....	41
Figura 24. Média geral de atraso de cada pacote da origem até o <i>sink</i> .....	41
Figura 25. Esgotamento energético do nó 35 após 4.297 segundos de simulação para a técnica de encaminhamento por caminho mais curto.....	44
Figura 26. Histograma de distribuição de consumo energético para a técnica de encaminhamento por caminho mais curto.....	45
Figura 27. Esgotamento energético do nó 39 após 6.538 segundos de simulação para a técnica de encaminhamento por caminho de menor atraso.....	45
Figura 28. Histograma de distribuição de consumo energético para a técnica de encaminhamento por menor atraso.....	46
Figura 29. Esgotamento energético do nó 25 após 7.119 segundos de simulação para as duas técnicas utilizadas.....	47
Figura 30. Histograma de distribuição de consumo energético para as técnicas de encaminhamento por caminho mais curto e por menor atraso.....	47
Figura 31. Esgotamento energético do nó 35 após 7.201 segundos de simulação, utilizando a técnica de menor atraso e consumo de energia .....	50
Figura 32. Histograma de distribuição de consumo energético para a técnica de encaminhamento por menor atraso e consumo de energia.....	50
Figura 33. Tempo total de cada pacote da origem até o <i>sink</i> para encaminhamento por menor atraso e consumo de energia.....	51
Figura 34. Média geral de atraso de cada pacote da origem até o <i>sink</i> para o encaminhamento por menor atraso e consumo de energia .....	52

Figura 35. Esgotamento energético do nó 25 após 8.131 segundos de simulação para o encaminhamento por menor atraso e consumo de energia.....	52
Figura 36. Histograma de distribuição de consumo energético para o encaminhamento por menor atraso e consumo de energia.....	53
Figura 37. Tempo total de atraso de cada pacote da origem até o <i>sink</i> para o encaminhamento por menor atraso e consumo de energia .....	53
Figura 38. Média geral de atraso de cada pacote da origem até o <i>sink</i> para o encaminhamento por menor atraso e consumo de energia .....	54

## Capítulo 1. Introdução

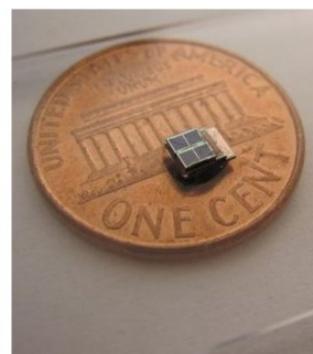
Com os recentes avanços tecnológicos observados na área de redes sem fio, diversos campos de aplicação têm se beneficiado com as suas possibilidades de utilização, tais como na agricultura, no controle de tráfego urbano, na área de saúde, na automação industrial, entre outros.

Neste contexto, um dos principais componentes que vem impulsionando consideráveis avanços tecnológicos, são os sensores sem fio. São sensores que, além da trivial capacidade de medir diferentes parâmetros físicos, também possuem as capacidades de processamento, de recepção e de transmissão de dados. Ao serem utilizados em redes sem fio, os sensores sem fio são genericamente denominados de nós sensores.

Na Figura 1 são ilustradas algumas plataformas de sensores sem fio da empresa *MENSIC* variando em termos de capacidade de comunicação de dados, formatos e dimensões físicas para os mais diversos fins. Destaca-se, porém, à direita da figura, a miniaturização alcançada no desenvolvimento de um sensor sem fio concebido com processador ARM Cortex-M3 sendo alimentado por energia solar. Ressalta-se que, tendo em vista o alto grau de miniaturização que vem sendo obtido, os sensores sem fio poderão estar cada vez mais presentes no cotidiano da sociedade em um futuro próximo.



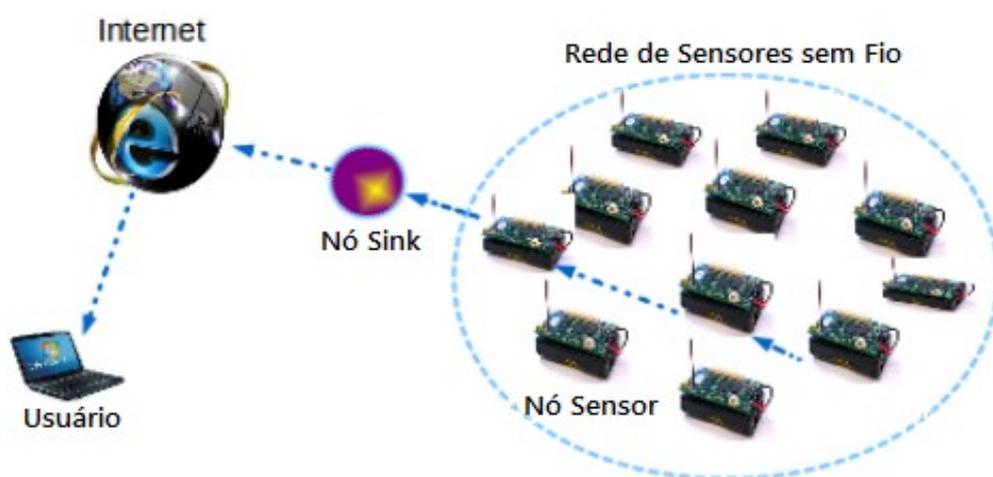
Fonte: <http://www.memsic.com>



Fonte: <http://spectrum.ieee.org>

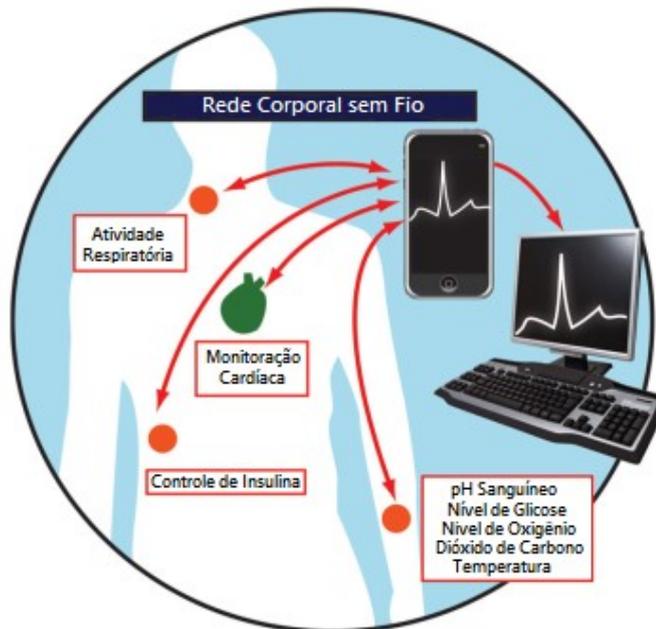
**Figura 1. Sensores sem Fio**

Uma rede sem fio interconectada formada destes nós sensores é chamada de rede de sensores sem fio. A Figura 2 traz o conceito mais comum de uma rede de sensores sem fio. Os dados coletados em um nó sensor de uma rede de sensores sem fio são encaminhados para outros nós sensores, até que os dados sejam entregues a um nó *sink*. Este nó *sink*, por sua vez, enviará os dados para o usuário final por meio da infraestrutura disponível para comunicação, no caso, a Internet.



**Figura 2. Rede de Sensores sem Fio (Adaptado de <https://www.quora.com>)**

Na área da saúde, as redes de sensores destacam-se no monitoramento de parâmetros de saúde de pacientes. Como ilustrado na Figura 3, esta tecnologia denominada de rede corporal de sensores sem fio (WBAN-*Wireless Body Area Network*) possibilita, inicialmente, as funções de monitoração de condições de saúde e dos principais sinais vitais de pacientes em acompanhamento, tais como, a monitoração da atividade cardíaca, da atividade respiratória, níveis de composição sanguínea, como glicose, dióxido de carbono, oxigênio, nível de pH e temperatura corporal. Com esta monitoração, os dados de interesse poderão ser disponibilizados para o acompanhamento médico.



**Figura 3. Rede Corporal de Sensores sem Fio (Adaptado de <http://www.etimes.com>)**

As WBANs podem ser interconectadas de modo a formar redes de monitoramento para acompanhamento de grupos de pacientes, possibilitando atender comunidades urbanas ou rurais de logradouros menos acessíveis, integrando-se à recente tecnologia da Internet das Coisas ou IoT (*Internet of Things*), conforme Yang, Liu e Liang (2010). A principal concepção da IoT é atribuir inteligência a todos os objetos (coisas), e esses objetos se comunicarão entre si, e também com as pessoas, formando uma rede de objetos. Um dos principais componentes da IoT é o leitor RFID (*Radio Frequency Identification*), que possibilita a leitura sem fio de dados armazenados em um objeto. Os dados dos pacientes das WBANs espalhadas em residências de uma comunidade (urbana ou rural) poderiam ser lidos através dos leitores RFIDs que formariam uma rede de RFIDs. Nessa rede, os leitores RFIDs trabalhariam cooperativamente para transmitirem os dados até um hospital ou centro de saúde, como apresentado em Serafim e Motoyama (2014). Um dos problemas encontrados em uma rede de RFIDs para WBANs é o encaminhamento de pacotes dentro dessa rede para que haja um percurso mais rápido até atingir o nó que tenha acesso ao centro médico ou hospital.

## **1.1. Objetivos**

Este trabalho objetiva estudar e propor técnicas de encaminhamento de pacotes para as redes de aplicação médica. Nessas redes de aplicação médica há necessidade de que os pacotes sejam encaminhados o mais rápido possível, ou seja, um caminho que tenha um menor atraso dentro da rede. A busca pelo aperfeiçoamento deste tipo de encaminhamento é motivada pelo fato de que os algoritmos encontrados na literatura se baseiam principalmente em algoritmos de busca por caminhos mais curtos. Em alguns casos, esta técnica de busca de caminho mais curto pode provocar um atraso por demais elevado, até mesmo comprometendo substancialmente a rede em questão.

Outro fator, que será levado em conta neste estudo, é referente ao nível de consumo de energia dos nós. A disponibilidade energética neste tipo de aplicação é de importância relevante, uma vez que poderá haver dados críticos sendo monitorados. A utilização de baterias acopladas aos leitores de RFID para este tipo de aplicação torna-se uma solução que possibilita um nível adicional de segurança para a estabilidade funcional destas redes. Aliado a este fator, pode-se citar que os nós poderão estar em locais de difícil manutenção, sobretudo, nos casos em que o uso contínuo destas baterias possa restringir o pleno armazenamento de energia.

## **1.2. Contribuição**

Este trabalho contribui no aperfeiçoamento de redes de aplicação médica no que se refere às técnicas de encaminhamento de pacotes. A contribuição é dada nas propostas de técnicas de encaminhamento de pacotes que escolhem caminhos com menores atrasos, e que, também, levam em conta, os níveis de energia dos nós da rede. As técnicas são desenvolvidas no contexto de redes de aplicação médica, mas poderão ser utilizadas, com as devidas adaptações, em qualquer tipo de rede.

## **1.3. Organização**

Este trabalho está organizado em seis capítulos. No capítulo 2, a seguir, aborda o uso da Internet das Coisas (IoT - *Internet of Things*) no contexto de redes de aplicação médica. As principais técnicas de encaminhamento de pacotes apresentadas na literatura

são discutidas no capítulo 3. No capítulo 4, é apresentada a proposta da técnica de encaminhamento por menor atraso. São detalhados, também, os principais aspectos estruturais do simulador OMNeT++. Além disso, um exemplo de rede é utilizado para verificar o desempenho da técnica de encaminhamento por menor atraso proposta. No capítulo 5, é feita a proposta da técnica de encaminhamento de pacotes que leva em conta os níveis de energia dos nós da rede e o seu desempenho apresentado. E por fim, no capítulo 6, são apresentadas as principais conclusões desta dissertação, bem como as sugestões de trabalhos futuros.

## Capítulo 2. IoT em Redes de Aplicação Médica

### 2.1. Introdução

A Internet das Coisas, conforme Uckelmann, Harrison e Michahelles (2011), é um conceito que possibilita uma completa integração do mundo virtual com o mundo real das coisas. Possibilitando que o mundo real se torne cada vez mais acessível através de computadores e dispositivos de rede de negócios, bem como em diversos cenários do cotidiano. Permite-se, por meio de um acesso as informações privilegiadas, a gestão de informações em níveis macro a micro, de modo a medir, planejar e agir em conformidade com as informações disponibilizadas. Contudo, a Internet das Coisas é mais do que uma ferramenta empresarial para o gerenciamento de negócios mais eficiente e mais eficaz. Como é ilustrado na Figura 4, a Internet das Coisas estará presente em diversas atividades do cotidiano possibilitando um modo de vida mais dinâmico e conveniente em sociedade. Permitindo a otimização de serviços de inteligência integrada às cidades, fábricas, rodovias e hospitais por meio de uma gama de serviços que poderão ser fornecidos por servidores em nuvem.

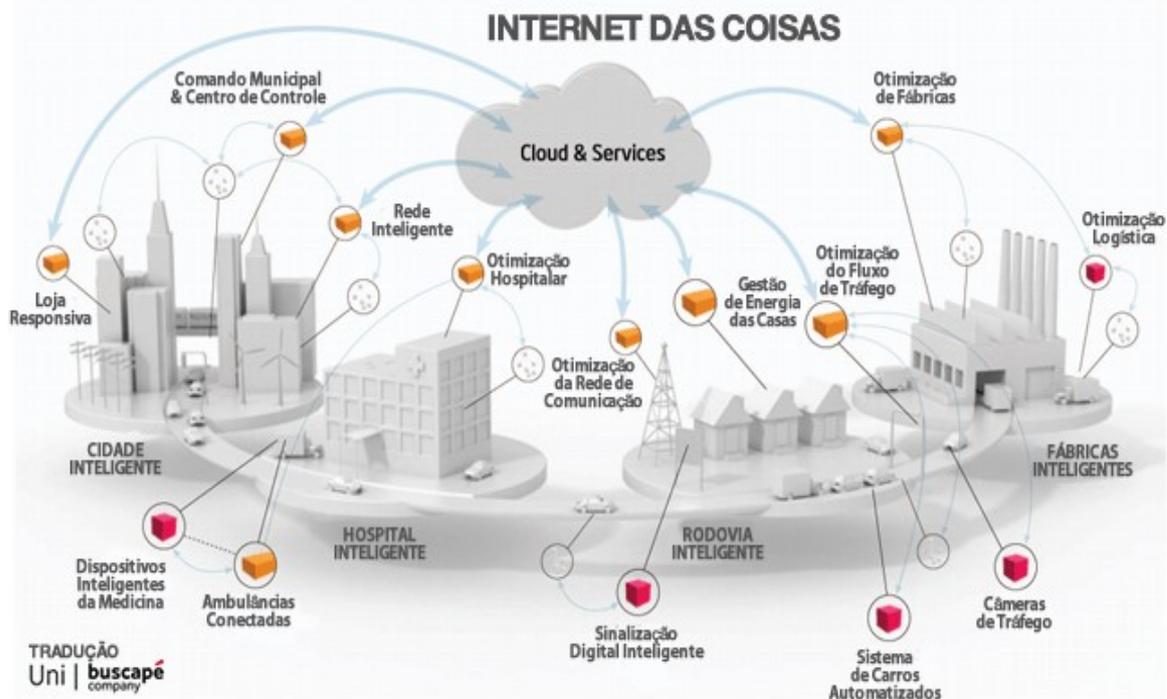


Figura 4. Internet das Coisas (fonte: <http://www.dcomercio.com.br/>)

## 2.2. Rede de Aplicação Médica

A Figura 5 ilustra a capacidade operacional do uso da Internet das Coisas (IoT-*Internet of Things*) em termos de empregabilidade para redes de aplicação médica.

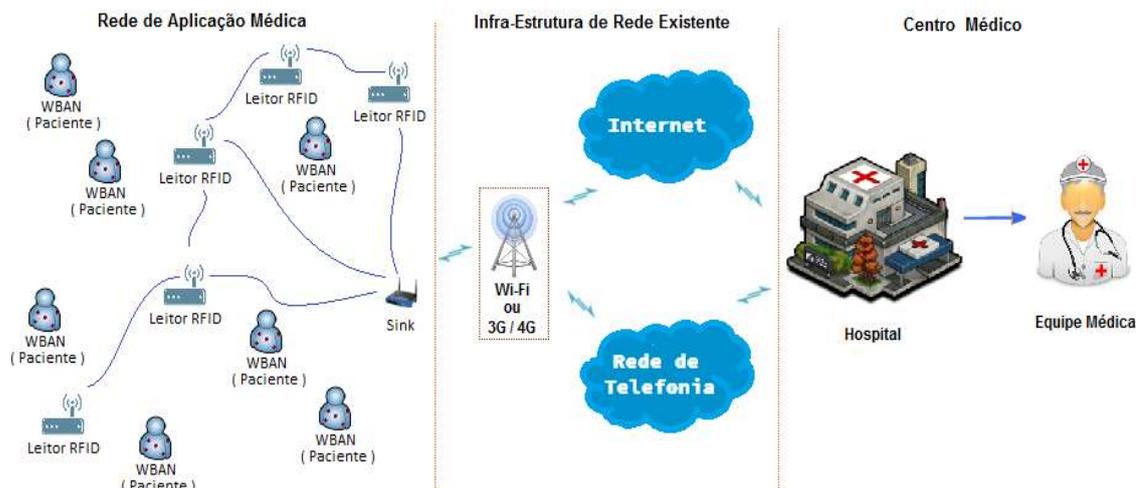
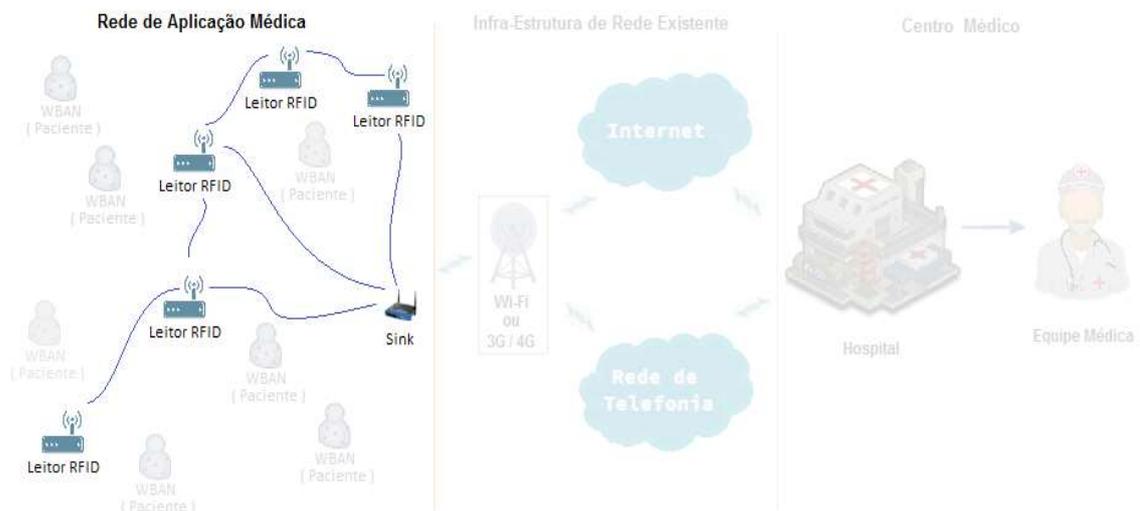


Figura 5. Configuração Geral com a Rede de Aplicação Médica

Pode-se observar na Figura 5 que há uma divisão em três partes distintas: uma parte correspondente à rede de aplicação médica propriamente dita, outra parte de infraestrutura de rede existente e, por fim, a parte do centro médico onde os dados serão processados. Na parte de rede de aplicação médica, inicialmente, ocorre a coleta dos parâmetros de saúde dos pacientes monitorados pelas WBANs instaladas em cada paciente. Na sequência, os dados dos pacientes são coletados destas WBANs por meio de leitores RFIDs (*Radio Frequency Identification*) que atuam cooperativamente para transferir os dados até o nó de destino *sink*, e, através da infraestrutura existente, são encaminhados ao centro médico. Na parte denominada de Infraestrutura de Rede Existente estão disponibilizadas as possíveis tecnologias existentes para fins de envio dos dados coletados. E, por fim, na parte denominada como Centro Médico estão disponíveis os meios necessários para o acompanhamento remoto das condições de saúde dos pacientes monitorados.



**Figura 6. Rede de Aplicação Médica em Destaque**

Na parte referente à rede de aplicação médica propriamente dita, em destaque na Figura 6, os leitores RFIDs deverão ter uma localização fixa bem distribuída favorecendo a eficaz monitoração de pacientes. Estes sensores serão ocasionalmente recolocados em diferentes lugares para uma melhor leitura de dados da WBAN. Além disso, os leitores devem cooperar entre eles para que os pacotes alcancem um nó final (*sink*) de pouca mobilidade que possibilitará acesso ao centro médico ou hospital. Entretanto, as redes de aplicação médica necessitam que os dados sejam transmitidos com acentuada rapidez, quase em tempo real, e com relevante segurança e confiabilidade.

Levando-se em conta que os protocolos de transporte de dados para redes, normamente, se baseiam na métrica de caminhos mínimos, por vezes, a utilização de métricas de roteamento baseadas em menor atraso e de melhor otimização energética podem ser mais adequadas para uso em redes de aplicações médicas.

Com a finalidade de avaliar o atraso do pacote em cada nó de rede, diversos critérios podem ser utilizados. Um destes critérios, que pode ser analisado, é o gerenciamento do buffer em cada nó para verificar o acúmulo de pacotes. O encaminhamento será feito pelo caminho onde há menor acúmulo em toda a rede. Outro critério é fazer as medições da taxa de entrada e de comprimento de pacotes em cada nó, e poderá ser utilizada uma fila simples do tipo M/M/1 para calcular a estimativa de

atraso. Nesses dois critérios, as verificações ou as medições podem ser feitas periodicamente, em intervalos pequenos, e cada nó atualizará a sua tabela de atrasos, transmitindo estes valores aos nós vizinhos. Após várias iterações, cada nó terá uma tabela contendo os atrasos da totalidade de nós de rede. Cada nó utilizará a tabela atualizada para encaminhar cada pacote, escolhendo o caminho de menor atraso. Para fins de garantir encaminhamentos com a distribuição energética mais otimizada, pode ser feita a verificação no nível de energia disponível em cada nó, estabelecendo caminhos alternativos com o intuito de resguardar as reservas energéticas dos nós que estejam apresentando restrições energéticas.

Para a verificação da eficácia do esquema proposto, a técnica de encaminhamento proposta será implementada em exemplos de topologias de redes não simples sob condições de alta carga de tráfego em rede. Serão feitos comparativos de resultados baseando-se em soluções fundamentadas em algoritmos de busca por caminhos mais curtos que são apresentadas na literatura. O pacote de software de simulação de eventos discretos OMNeT++ abordado em Varga e Hornig (2008) será utilizado para auxiliar na validação e nas comparações da técnica de encaminhamento em relação com outras técnicas em estudo nesta área.

## **2.3. Conclusões**

Neste capítulo foram detalhados alguns aspectos relativos à tecnologia da Internet das Coisas (*IoT- Internet of Things*), destacando suas potencialidades e abrangência na conjuntura da vida moderna cotidiana.

Foram abordados os desafios atuais da Internet das Coisas no contexto de redes de aplicação médicas. Em especial, algumas soluções tecnológicas foram destacadas para encaminhamento de pacotes de dados, sobretudo nos quesitos de rapidez com otimização de distribuição energética.

## Capítulo 3. Técnicas de Encaminhamento

### 3.1. Introdução

Neste capítulo, serão descritos alguns tipos de encaminhamento em redes sem fio que poderão ser apropriados para redes de aplicação médica.

### 3.2. DSDV – Destination-Sequenced Distance-Vector

O algoritmo DSDV (*Destination-Sequenced Distance-Vector*) apresentado em Perkins (1994) é baseado no algoritmo clássico de Bellman-Ford com alguns aprimoramentos. Neste protocolo cada estação móvel mantém uma tabela de roteamento constando de todos destinos disponíveis, número de saltos para alcançar o destino e um número sequencial associado ao nó destino. O número sequencial é importante para distinguir rotas obsoletas das rotas mais novas para evitar a ocorrência de laços. As estações periodicamente propagam suas tabelas de roteamento com as estações imediatamente vizinhas. As tabelas de roteamento das estações também são transmitidas em casos de atualizações significantes em suas tabelas desde a última atualização enviada. Portanto, esta atualização ocorre tanto pelo fator tempo como pelo fator da ocorrência de evento.

O envio de tabelas de roteamento pode ocorrer de dois modos: completo (*Full Dump*) e incremental (*Incremental Update*). No modo completo a tabela completa de roteamento é enviada aos nós vizinhos, podendo ser usados diversos pacotes para isso. No modo incremental somente são enviados os registros cuja métrica de roteamento sofreu mudanças desde a última atualização. Normalmente essa atualização não necessita o envio de mais do que um pacote na rede. Quando houver espaço disponível neste pacote incremental, os registros cujo número sequencial foi alterado também poderão ser incluídos.

Em redes relativamente estáveis as atualizações incrementais são enviadas com o intuito de se evitar tráfego e atualizações completas são pouco frequentes. Por outro lado, em redes que possuem um maior grau de mudanças, a quantidade de pacotes

incrementais pode aumentar demasiadamente tornando o envio completo das tabelas mais frequente. Cada pacote de atualização, além dos dados da tabela de roteamento, também contém um número sequencial único estabelecido pelo transmissor. A rota identificada com o número sequencial mais alto (ou seja, mais recente) é utilizada. Se duas rotas possuírem o mesmo número sequencial, haverá a escolha da melhor métrica, por exemplo, rota mais curta. Por meio de uma base histórica, as estações podem estimar a estabilidade dos tempos envolvidos de roteamento. As estações retardam a transmissão de uma atualização de rota considerando um tempo de estabilização de rotas. Eliminando, assim, as atualizações que poderiam ocorrer em rotas encontradas muito recentemente.

### **3.3. GSR – Global State Routing**

O algoritmo GSR (*Global State Routing*), apresentado por Chen (1998), é similar ao Protocolo DSDV (*Destination-Sequenced Distance-Vector*), porém aprimorando-o para evitar sobrecargas maiores referentes às mensagens de roteamento.

Neste algoritmo, cada nó mantém uma lista dos nós vizinhos, uma tabela de topologia, uma tabela de próximos saltos e uma tabela de distâncias. A lista de nós vizinhos contém a lista de seus vizinhos (considera-se que todo nó que possa ser diretamente acessado pelo nó presumidamente são seus vizinhos). Para cada nó destino, a tabela de topologias contém a informação do estado de conexão conforme a informação de destino e de “timestamp” das informações deste. Para cada destino, a tabela de próximo salto contém o próximo salto para onde os pacotes deverão ser enviados. A tabela de distância contém a distância mais curta de cada nó de destino.

As mensagens de roteamento são geradas no momento em que ocorre uma mudança de conexão como ocorre em protocolos baseados em estado de enlace. Ao receber uma mensagem de roteamento, o nó atualiza sua tabela de topologia caso o número de sequência é mais recente do que o número de sequência armazenado em tabela. Em seguida, o nó reconstrói sua tabela de roteamento de modo a enviar esta informação para os nós vizinhos.

### 3.4. FSR – Fisheye State Routing

O algoritmo FSR (*Fisheye State Routing*), apresentado em Iwata (1999), não é nada mais do que um aprimoramento do GSR. Verificando-se que o tamanho demasiado das mensagens de atualização do GSR desperdiça uma considerável quantidade de largura de banda da rede, no FSR cada mensagem de atualização não conterà a informação a respeito de todos os nós. Ao invés disso, haverá uma frequência maior de troca de informações com os nós mais próximos, portanto, reduzindo o tamanho das mensagens de atualização. A Figura 7 ilustra o escopo central (fisheye) para o nó central em vermelho. Neste caso, cada nó manterá a informação precisa a respeito dos nós vizinhos e os detalhes e precisão desta informação diminuirá conforme a distância do nó aumente. Mesmo que um nó não tenha uma informação precisa com respeito a nós distantes, os pacotes serão roteados corretamente conforme os dados de roteamento vão se tornando mais precisos quando os pacotes de dados se aproximam do nó destino. O FSR torna-se bastante adequado devido ao fato que a sobrecarga é controlada por meio deste esquema.

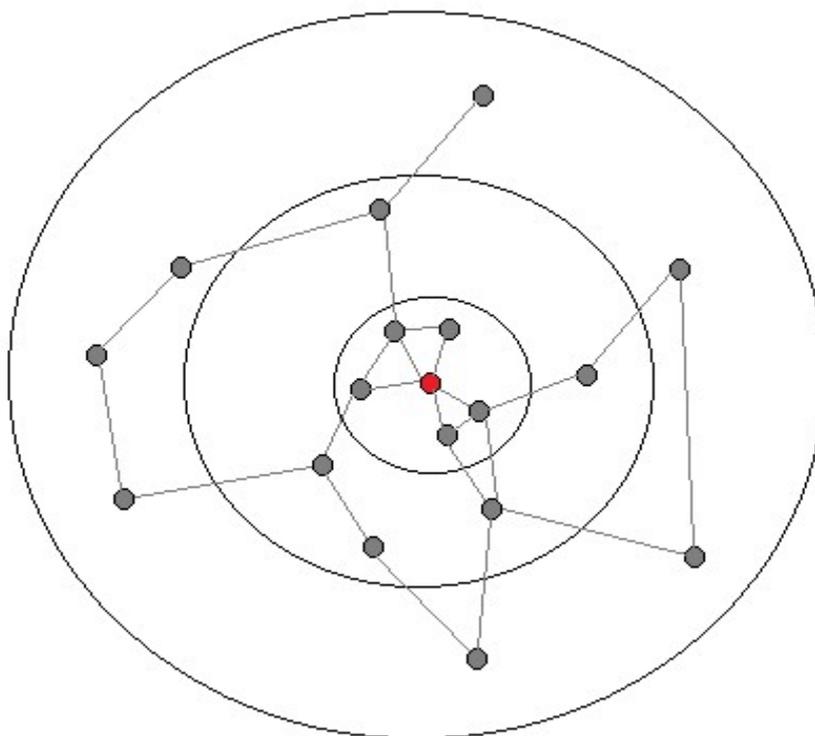


Figura 7. Exemplo de Rede Baseada em FSR - A precisão das informações é reduzida para os nós que estejam nas bordas da rede (Adaptado de Misra 1999)

### 3.5. WRP – Wireless Routing Protocol

Uma técnica de encaminhamento denominada de WRP (*Wireless Routing Protocol*) é apresentada em Murthy e Garcia-Luna-Aceves (1996). Trata-se de um protocolo de vetor-distância baseado em um conjunto de tabelas em cada nó. São utilizadas quatro tabelas: de distância, de encaminhamento, de custo e de atualização.

A tabela de distância de um nó  $x$  contém a distância de cada nó destino  $y$  através de cada nó vizinho  $z$  de  $x$ . A informação do próximo nó da rota, vizinho de  $z$ , é, também, contemplada na tabela. A tabela de encaminhamento do nó  $x$  contém a distância de cada nó destino  $y$  vindo do nó  $x$ , o predecessor e o sucessor do nó  $x$  desta rota. A armazenagem do predecessor e do sucessor na tabela é útil no caso de detectar laços e evitar problemas de contagem ao infinito. A tabela de custo de *link* contém o custo do *link* de cada vizinho do nó e a quantidade de erros por tempo excedido até que uma mensagem livre de erros tenha sido recebida por aquele nó. Para atualização das tabelas, cada nó mantém uma lista de retransmissão de mensagens (*MRL-Message Retransmission List*) que contém as informações dos nós vizinhos que ainda requerem mensagens de atualização. Os nós compartilham os dados de suas tabelas de encaminhamento com os nós vizinhos, periodicamente, através de mensagens de atualização, e, também, quando há alterações no *link*. No recebimento de uma mensagem de atualização, o nó faz as devidas modificações em sua tabela de distâncias e verifica os melhores caminhos ao se basear nas novas informações. Qualquer novo caminho encontrado é enviado para os nós de origem com o objetivo de atualizar suas tabelas. E no caso de ser encontrado um caminho melhor do que o existente na tabela de encaminhamento será também atualizado. No recebimento dos pacotes de confirmação, o nó faz a atualização de sua lista de retransmissão de mensagens (MRL).

### 3.6. HSR – Hierarchical State Routing

O algoritmo HSR (*Hierarchical State Routing*), apresentado em Iwata (1999), tem como característica principal o uso de particionamento lógico de *cluster* multinível. A rede é particionada em *clusters* e um *cluster-head* é eleito por um algoritmo de uso específico para *clusters*. Em Roteamento de Estado Hierárquico (HSR), os nós com o

papel de *cluster-heads* farão a própria organização destes e assim por diante. Os nós de um *cluster* físico transmitirão suas informações de conexão para os demais nós *cluster*. O nó *cluster-head* resumirá suas informações do *cluster* e a enviará para os nós *cluster-heads* vizinhos por meio de *gateway*. Como ilustrado na Figura 8, estes nós *cluster-heads* são membros do *cluster* em um nível mais alto e estes fazem a troca das informações sobre os dados de conexão, como também resumem a informação de baixo nível entre os nós e assim por diante. O nó de cada nível enviará para o nível mais baixo por meio do algoritmo de inundação, os dados obtidos após processamento de informações daquele nível. Deste modo o nível mais baixo é informado dos dados da topologia hierárquica. Deste modo, cada nó possuirá seu endereço hierárquico. Uma maneira de atribuir um endereço hierárquico é por meio do número de cluster do caminho da raiz até o nó, como mostrado na Figura 8. Cada nó *gateway* pode ser acessado a partir do nó raiz por mais que um caminho, de modo que o *gateway* terá disponível mais do que um endereço hierárquico. Um endereço hierárquico é o suficiente para assegurar a entrega de pacotes de dados de qualquer lugar na rede para o nó destino.

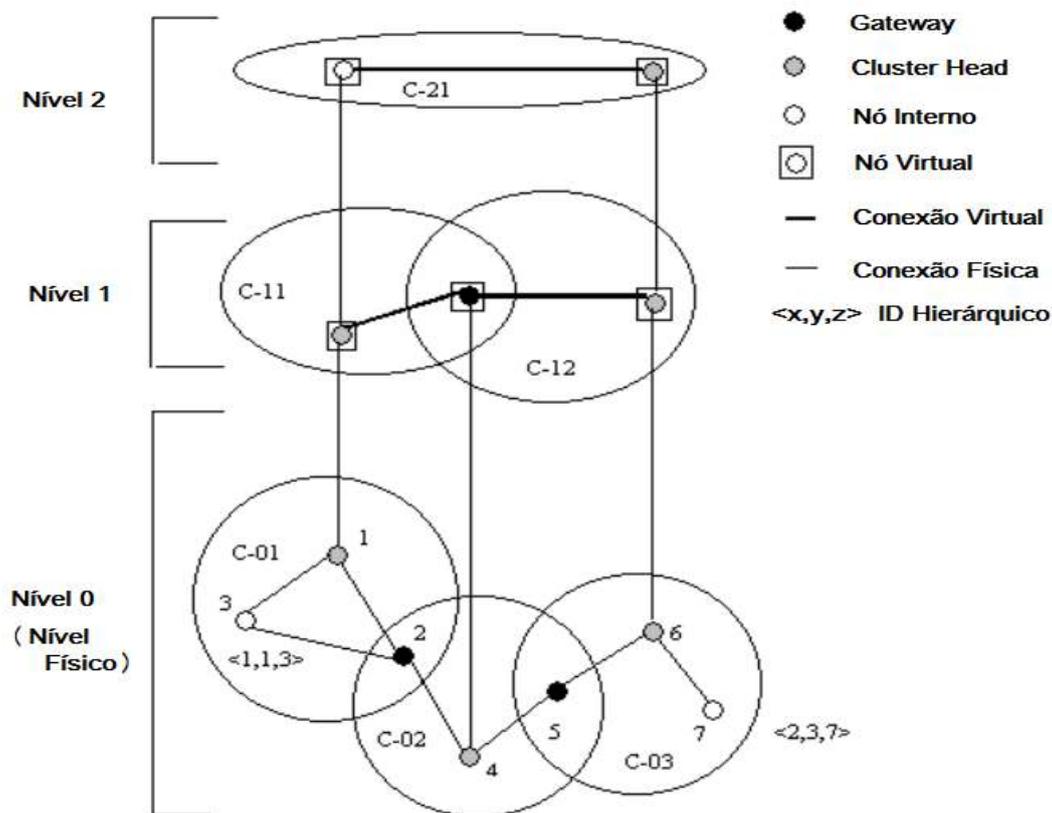


Figura 8. Exemplo de Encaminhamento em Cluster HSR (Adaptado de Misra 1999)

Adicionalmente, os nós da rede serão também divididos em sub-redes lógicas e cada nó receberá um endereço lógico no formato <sub-rede, nó>. Neste contexto, cada sub-rede terá um Servidor de Gerenciador de Localização (*LMS-Location Management Server*). Todos nós de uma sub-rede registrarão seu endereço lógico com o Servidor de Gerenciamento de Localização (LMS). O Servidor de Gerenciamento de Localização (LMS) divulga seu endereço hierárquico para os níveis mais altos e esta informação será enviada para todos os Servidores de Gerenciamento de Localização(LMS) também. A camada de transporte enviará um pacote a camada de rede com o endereço lógico do nó destino. A camada de rede encontrará o endereço hierárquico do Servidor de Gerenciamento de Localização (LMS) do nó destino de seu LMS para em seguida enviar o pacote de dados para ele. O Servidor de Gerenciamento de Localização (LMS) de destino enviará finalmente ao nó de destino final. Uma vez que os nós de origem e destino já conhecem o endereço hierárquico de cada um, estes podem se comunicar diretamente sem a necessidade do Servidor Gerenciador de Localização (LMS). Deste modo como é utilizado um endereço lógico/hierárquico para roteamento, este fica adaptável a mudanças que ocorram na rede.

### **3.7. ZHLS – Zone-based Hierarchical Link State**

No protocolo ZHLS (*Zone-based Hierarchical Link State*), apresentado em Joa-Ng (1999), a rede é dividida em zonas não sobrepostas. Diferente aos outros protocolos hierárquicos, não há um nó cabeça da referida zona. O protocolo ZHLS define dois níveis de topologias – em nível de nós e em nível de zonas. Uma topologia em nível de nós informa como os nós de uma zona são conectados uns com os outros fisicamente. Haverá uma conexão virtual entre duas zonas, caso haja ao menos um nó de uma zona fisicamente conectado a qualquer nó de outra zona. Uma topologia em nível de zonas informa quantas zonas estão efetivamente conectadas. Há, também, dois tipos de Pacotes de Estado de Conexão (*LSP-Link State Packets*)- de nós e de zonas. Um Pacote de Estado de Conexão (LSP) de um nó contém a informação referente ao seu nó vizinho e esta é propagada indicando a zona. Assim o Pacote de Estado de Conexão (LSP) propaga globalmente os dados da referida zona. Desse modo cada nó conterá pleno conhecimento de conectividade sobre os nós em sua zona e somente a informação de conectividade de zona em relação as demais zonas na rede. Fornecendo-se, assim, a

identificação de zona e do nó de destino, o pacote é roteado baseado na identificação de zona até alcançar a zona correta. Uma vez que o pacote esteja na referida zona, este será roteado baseado em sua identificação de nó. Uma identificação do tipo <zona, nó> para destinação de pacotes é suficiente para ser efetuado o devido roteamento, de modo a ser adaptável a mudanças de topologias.

### 3.8. CGSR- Clusterhead Gateway Switch Routing

Na técnica de encaminhamento denominada de CGSR (*Clusterhead Gateway Switch Routing*), apresentada em Chiang (1997), os nós móveis são agregados em *clusters*, e um nó *cluster-head* é eleito. Todos os nós que estejam ao alcance deste *cluster-head* pertencerão ao seu *cluster*. Um nó do tipo *gateway* que estiver ao alcance de comunicação de dois ou mais *cluster-heads*, propiciará a comunicação entre os *clusters*.

A Figura 9 ilustra um exemplo de como o algoritmo desta técnica funciona. Inicialmente o nó fonte transmite o pacote de dados para o seu *cluster-head*. A partir deste *cluster-head*, o pacote será enviado para o nó *gateway* que fará a conexão com o próximo *cluster-head*. As conexões serão sucedidas via *gateways* com todos os *cluster-heads* ao longo do caminho até o *cluster-head* de destino. Por fim, este *cluster-head* transmite o pacote para o nó destino.

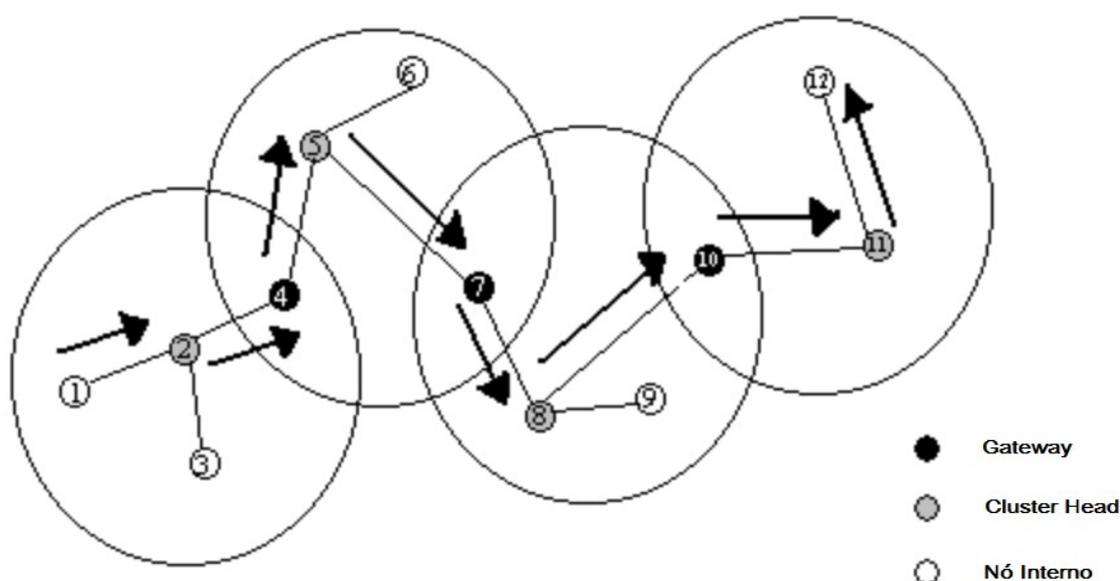


Figura 9. Exemplo de Encaminhamento CGSR do nó 1 ao nó 12 (Adaptado de Misra 1999)

Em um cenário dinâmico, para não perder desempenho, devido as constantes eleições do *cluster-head*, é utilizado o algoritmo LCC (*Least Cluster Change*). Neste algoritmo a mudança do *cluster-head* ocorre somente quando os dois *cluster-heads* estejam fazendo parte de um mesmo *cluster* ou quando um dos nós da rede fica fora de alcance de qualquer *cluster-head*. Neste protocolo, o nó de origem deverá transmitir seus pacotes de dados para o seu *cluster-head*. A partir deste *cluster-head*, os pacotes em trânsito serão enviados para o nó *gateway*, de onde será enviado para o próximo *cluster*. O processo continua até alcançar o *cluster-head* de destino. Por fim, o *cluster-head* de destino transmitirá o pacote de dados para o nó de destino.

### **3.9. HDP – Height Distance and Power Consumption Algorithm**

Um tipo de encaminhamento baseado em um modelo hierárquico, denominado de HDP (*Height Distance and Power consumption algorithm*), é apresentado em Sinha and Barman (2012). Neste modelo, os sensores da rede são agrupados em clusters, e em cada cluster os dados de comunicação são agregados para reduzir o número de transmissões para a estação base, consequentemente reduzindo o consumo de energia. Este algoritmo de encaminhamento é baseado em interações. Cada interação é compreendida pelas fases de configuração e transmissão. Na fase de configuração, os nós principais são escolhidos, e na fase de transmissão, os nós escolhidos farão a agregação dos dados a serem transmitidos para a estação base. É, também, realizada uma análise do consumo elétrico para cada nó e para a rede como um todo com a finalidade de prolongar o tempo de vida útil da rede de sensores. Para o encaminhamento de pacote do nó fonte ao nó destino é utilizado o critério de caminho de menor peso. Em seguida, é feita a atualização, adicionando e eliminando os nós de sensores.

### 3.10. GBR – Gradient Based Routing

A técnica de encaminhamento denominada de GBR (*Gradient Based Routing*) apresentada em Schurgers e Srivastava (2001) é baseada na técnica de gradiente, utilizada, também, em outros protocolos de encaminhamento *ad hoc*. Nessa abordagem, utiliza-se um índice de gradiente que é baseado na qualidade de um nó possuir uma quantidade mínima de saltos até o nó *sink*. O quantitativo de gradiente, neste contexto, é calculado pela diferença de pesos de um nó com o seu vizinho. Os pacotes de dados são preferencialmente encaminhados nos *links* de maior gradiente. Com o intuito de aumentar a eficiência da rede, técnicas auxiliares também são destacadas para este modelo de encaminhamento, tal como a agregação de dados e técnicas complementares de difusão de pacotes. Para a agregação de dados, os nós mais próximos ao ponto de comunicação são propensos a se tornarem Entidades de Combinação de Dados (DCE – *Data Combining Entity*) que permitem a compactação de dados. Nas técnicas de difusão de pacotes é utilizada a seleção aleatória de pulos no caso de empate (*stochastic scheme*), a de estimativa de energia (*energy-based scheme*) e a de fluxos de dados (*stream-based scheme*). Estas técnicas colaboram para alcançar uma distribuição mais uniforme de tráfego por toda a rede, equilibrando as cargas dos nós de rede, e aumentando o tempo de vida da rede.

### 3.11. LEACH – Low-Energy Adaptative Clustering Hierarchy

A técnica de encaminhamento denominada de LEACH (*Low-Energy Adaptative Clustering Hierarchy*), apresentada em Hienzelman (2000) é um protocolo hierárquico em que a maioria dos nós transmite para os nós denominados *cluster heads* distribuindo o consumo energético por igual entre os sensores por meio de critério estocástico. Deste modo, os nós se auto-organizam em *clusters* locais, atribuindo para um dos nós a função de *cluster head*.

Nos algoritmos convencionais para *clusters*, os *cluster heads* são escolhidos e fixados para todo o tempo de vida de operação das redes, fazendo com que os sensores menos afortunados que forem sendo escolhidos para serem *cluster heads* tendam a ter seu tempo de vida energética esgotado com prematuridade. Destaca-se o fato de que

neste contexto, o evento do esgotamento destes nós que exercem a função de *cluster head* culmina na finalização do tempo de vida útil de todo o conjunto de nós participantes de cada *cluster*.

O protocolo LEACH inclui um algoritmo de rotação aleatória para fins de revezamento de posição dos *cluster heads* nos conjuntos de nós sensores participantes de cada cluster com o intuito de não esgotar a reserva energética de um único nó sensor. Adicionalmente, o protocolo LEACH executa uma fusão e compressão de dados para serem enviados dos *clusters* até a estação base, possibilitando a redução da dissipação energética e aprimorando o sistema de sobrevivência da rede.

Os sensores elegem a si mesmos para serem os *cluster heads* locais em qualquer momento com certa probabilidade. Estes nós *cluster heads* transmitem seus *status* para os outros sensores na rede. Cada nó sensor seleciona qual *cluster* ele deverá pertencer objetivando o consumo mínimo de energia durante as transmissões de envio de dados.

Uma vez que todos os nós estejam organizados em *clusters*, cada *cluster head* cria uma escala ou agenda de acesso para os nós em seu *cluster*, através da técnica de acesso TDMA. Essa escala permite que os componentes de rádio de cada nó, que não seja *cluster head* possa permanecer desligado sempre em que não haja transmissão de dados. Isso permite o uso do mínimo de energia requerida, de modo a minimizar a energia dissipada individualmente nos sensores. No momento que o *cluster head* tenha todo o conjunto de dados coletados de todos os nós de seu *cluster*, o nó *cluster head* agrega estes dados comprimindo-os e enviando-os até a estação base ou nó *sink*. O protocolo LEACH também utiliza o CDMA de modo que cada cluster faz uso de um conjunto diferente de códigos CDMA, minimizando deste modo a interferência entre *clusters*.

### **3.12. LCM – Link-aware Clustering Mechanism**

A técnica de encaminhamento denominada de LCM (*Link-aware Clustering Mechanism*), apresentada em Wang e Chen (2013) é um mecanismo para encaminhamento de pacotes que tem como objetivo determinar rotas de encaminhamento energeticamente eficientes e confiáveis baseando-se no estado do nó e a condição da conexão. Esta técnica faz uso de uma métrica de previsão de contagem de

transmissões (PTX – *Predicted Transmission Count* ) para determinar a prioridade de cada candidato a *cluster head* e de *gateway*. A métrica utilizada PTX, de fato, representa o nível de qualidade que os nós de rede podem suportar ao se basear no consumo de potência de transmissão, energia residual e qualidade de conexão. A métrica de contagem de transmissão esperada (ETX - *Expected Transmission Count* ) é implementada de modo a mesurar a contagem bidirecional de cada conexão entre nós.

De fato, por meio de mecanismo baseado em prioridades, o LCM deve selecionar os melhores nós para se tornar *cluster heads* ou *gateways* ao considerar tanto o estado do nó (*i.e.*, uso energético) e a condição de conexão (*i.e.*, valor de ETX) para construir com eficiência uma rota de encaminhamento persistente e confiável.

### **3.13. LCH – Linear Cluster Handling**

O protocolo de encaminhamento denominado de LCH (*Linear Cluster Handling*), apresentado em Sajid *et. al* (2015) é um protocolo projetado com o propósito de atender a cenários de múltiplos *sinks* com controle energético onde a distribuição geográfica dos nós sensores descreva uma disposição predominantemente linear.

É um protocolo que durante sua operação executa três fases distintas: fase de anúncio ( *advertisement phase* ), fase de configuração de cluster ( *cluster setup phase* ) e fase de transmissão de dados ( *data transmission phase* ). Em condições normais, uma quantidade aproximadamente igual de nós é distribuída para cada região, de modo que os nós *sinks* estejam posicionados na rede recebendo dados de seus *cluster heads* e dos nós vizinhos. Um *cluster head* é selecionado para cada região, devendo receber os dados coletados pelos sensores dos nós. Após a agregação, os pacotes de dados são transferidos para a estação base. De fato, com a divisão da área de rede em múltiplas regiões e múltiplos nós *sink* estáticos, obtém-se um aprimoramento do tempo de vida e vazão de rede.

### 3.14. DRINA – Data Routing In-Network Aggregation

O protocolo de rede DRINA (*Data Routing In-Network Aggregation*), apresentado em Villas *et. al* (2013), é um protocolo baseado em *clusters* objetivando maximizar a agregação de dados e criar uma árvore de rotas de encaminhamento de pacotes por caminhos de menor número de saltos para conectar todos os nós fontes até o nó de destino *sink*. Os nós são divididos nas quatro categorias distintas durante a criação da infraestrutura de roteamento:

- Colaborador: Um nó que detecta um evento;
- Coordenador: Um nó que ao detectar um evento faz a coleta de dados enviados pelo nó colaborador, agregando-os e enviando-os ao nó *sink*;
- *Sink*: Um nó que recebe dados provenientes do coordenador e do colaborador;
- *Relay*: Um nó que reencaminha dados até o nó *sink*.

Para cada novo evento, os nós que detectam o mesmo evento organizam-se em *clusters*, e executam a eleição dos *cluster heads*. Em seguida, as rotas de encaminhamento são criadas por meio da seleção dos nós sob o critério de seleção dos caminhos de menor número de saltos. A infraestrutura de roteamento proporcionada pelo DRINA tende a maximizar os pontos de agregação de dados e utilizar menos pacotes de controle ao construir a árvore de rotas de encaminhamento. Diferentemente de outros algoritmos, o DRINA não inunda uma mensagem para toda a rede, todas às vezes que um novo evento ocorre.

### 3.15. EEDRINA – Energy Efficient Data Routing In-Network Aggregation

O algoritmo EEDRINA (*Energy Efficient Data Routing In-Network Aggregation*), apresentado em Shinde e Sonovane (2015) é uma extensão do protocolo protocolo DRINA que permite a agregação e envio de dados com um maior grau de eficiência energética.

Neste protocolo são implementadas alterações no cabeçalho convencional IP, sobretudo, adicionando-se dois campos a mais para sinalizar o nível energético residual

e contagem de saltos. Por meio de um algoritmo próprio para fins de aperfeiçoamento de desempenho energético, os nós que venham a possuir níveis mais baixos de energia são devidamente contornados dos encaminhamentos inicialmente adotados no início de operação de rede. São obtidos, conseqüentemente, ganhos em termos de vazão de rede e economia energética em comparação com outras técnicas semelhantes tais como o LEACH e DRINA.

### 3.16. Conclusões

Neste capítulo foram abordadas diversas técnicas de encaminhamento para redes ad hoc para a modalidade de redes sem fio. Os protocolos de encaminhamento podem ser analisados em dois grupos: protocolos orientados a tabelas de encaminhamento e de protocolos de encaminhamento sob demanda. Nos protocolos orientados a tabelas, cada nó mantém a atualização dos dados de encaminhamento de todos os nós da rede. Por outro lado, nos protocolos de encaminhamento sob demanda, o nó fonte busca uma rota para o nó destino somente no momento que houver a necessidade de enviar dados para o nó destinatário.

Devido à natureza de rede estudada neste trabalho, foram destacados os protocolos orientados a tabelas. DSDV e GSR são protocolos orientados a tabela que utilizam número sequencial de destino para manter as rotas atualizadas e livres de formação de laços. HSR e ZHLS são modelos de encaminhamento hierárquico. FSR reduz o tamanho das tabelas para serem compartilhadas mantendo-se a informação dos nós mais distantes com menos exatidão. GGSR é um protocolo de encaminhamento baseado em técnica de cluster, onde os nós são agrupados em *clusters*. As técnicas HDP, GBR, LEACH, LCM, LHC e EEDRINA consideram a influência do critério de gasto energético para a determinação de rotas de pacotes de dados para redes baseadas em *clusters*.

## **Capítulo 4. Encaminhamento de Pacotes por Menor Atraso**

### **4.1. Introdução**

Neste capítulo é proposta uma técnica de encaminhamento por caminho de menor atraso com o objetivo de atender inicialmente um contexto topológico compatível com as necessidades de redes de aplicações médicas. Esta técnica, com os devidos tratamentos, poderá também ser empregada em outras aplicações de missão crítica que necessitem por respostas em tempo real.

Primeiramente, são abordados os detalhes do algoritmo proposto. Em seguida, é feito um detalhamento da ferramenta de simulação utilizada. E por fim, são apresentados os resultados obtidos em simulação, comparando-se o critério de encaminhamento baseado em menores atrasos com o esquema de encaminhamento por menor número de pulos.

### **4.2. A Técnica Proposta**

A técnica de encaminhamento por menor atraso proposta neste trabalho é baseada no critério de contagem do número de pacotes em espera em cada uma das filas de cada nó da rede. Cada nó deverá gerenciar o seu conjunto de filas verificando a quantidade de pacotes armazenados. De tempo em tempo esta quantidade é informada inicialmente aos nós vizinhos, e seguida aos demais por meio do método de inundação. Por fim após certo tempo, todos os nós teriam a informação de acúmulo de pacotes referente a todos os nós da rede. Cada nó, utilizando destes valores de atrasos, em forma de tabela com o peso de cada enlace, poderá calcular o caminho de menor número de pacotes armazenados através do algoritmo de Dijkstra, possibilitando a criação da tabela de encaminhamento.

Devido às necessidades próprias das redes de aplicação médica é recomendado o emprego de técnicas de encaminhamentos de pacotes que não sejam orientadas à

conexão. Normalmente, nestes casos a necessidade por transmissão do fluxo de dados em tempo real é um requisito essencial.

A implementação da técnica aqui proposta é bastante aplicável para redes que forem organizadas em *clusters*.

O algoritmo de Dijkstra utilizado neste trabalho é baseado nos passos abaixo.

Passo 1. Escolhe-se o nó que enviará pacotes. Define-se uma tabela de pesos para o conjunto de nós, inicialmente com valores de peso infinito. O nó de origem é associado com peso 0 ao inseri-lo na tabela de pesos. Conforme os passos forem executados, a tabela de pesos irá armazenar aos pesos dos nós encontrados.

Passo 2. Buscam-se para cada nó conectado, os nós que ainda não estejam na tabela de pesos. Atribui-se para cada nó que não esteja na tabela de pesos a identificação do nó inserido junto com a soma dos pesos referentes ao nó e sua conexão.

No caso em que o nó analisado já possuir um valor atribuído na tabela de pesos, será feita a seleção do caminho de menor peso.

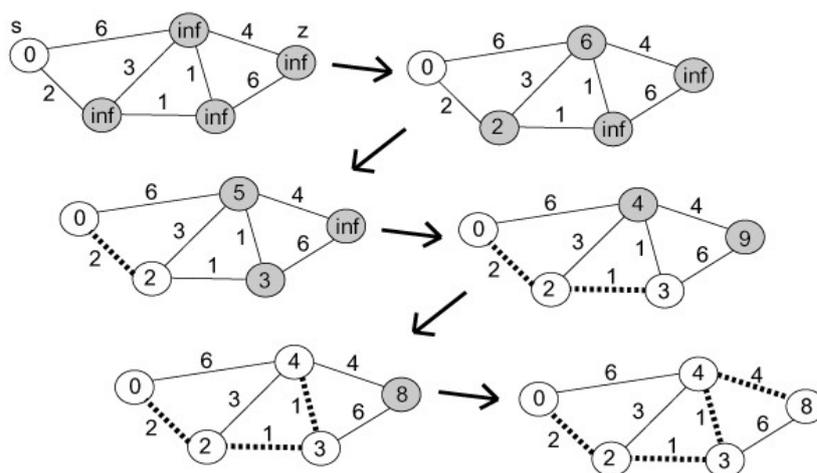
Passo 3. Ao escolher o caminho com o menor peso, adiciona-o na tabela de pesos.

Passo 4. Repete-se o passo 2, até que a busca por todos os nós esteja completa e estejam na tabela de pesos. No caso de não os encontrar, estes permanecerão com o peso infinito.

Por fim, com a atribuição de valor do nó destino, seu valor indicará o peso total do nó fonte até o nó destino. Se não estiver atribuído, indicará que não existe um caminho disponível do nó de origem até o nó destino.

A Figura 10 ilustra um exemplo de uso deste algoritmo na busca do caminho de menor peso entre os nós de  $s$  até  $z$ . Inicialmente, o peso de  $s$  até  $s$  é de valor 0. Em seguida, são efetuadas as somas com os vizinhos ( $0 + 6$  e  $0 + 2$ ) e os valores dos nós são armazenados. Nesse momento, o nó de menor valor de soma é selecionado, que é de peso 2. Em seguida os nós vizinhos deste nó são verificados e as somas dos nós de suas conexões são calculadas para todos os vizinhos novamente, sempre obtendo os nós de

menores soma por conexão e assim por diante para todos os níveis. Conforme cada nó é analisado, os nós que forem sendo descobertos com somas menores em relação às somas já calculadas serão atualizados com os novos valores. Cada nó manterá armazenado o nó antecessor no objetivo de indicar o caminho de menor peso. Por fim, o caminho de menor somatória de pesos encontrados é selecionado.



**Figura 10. Exemplo do Uso do Algoritmo de Dijkstra na procura do caminho de menor peso entre os vértices do nó s ao nó z (fonte: www.heptargon.de)**

Com relação com a técnica de encaminhamento por atraso mínimo, proposta neste trabalho, as tabelas de encaminhamento deverão ser refeitas todas às vezes que as filas de qualquer um dos nós alcancem um valor pré-determinado de gatilho. Este valor de gatilho deverá, também, ser compartilhado para os demais nós de rede. Os novos pesos terão como base a contagem do número de pacotes em cada uma das filas de espera de cada nó da rota de encaminhamento da rede.

### 4.3. Simulador de Eventos Discretos OMNeT++

O OMNeT++ ( Objective Modular Network Testbed in C++ ) é um pacote de simulação de eventos discretos desenvolvido pela Universidade de Budapeste (University of Budapest) por András Varga (Varga 2001) com o objetivo de construir simulações de redes de computadores e outros sistemas distribuídos. Os modelos de simulação são implementados em linguagem C++ e seus módulos são vinculados ao ambiente por meio da linguagem de descrição de topologias de redes NED (NETwork Description language). Sendo de código aberto e gratuito para uso sem fins lucrativos,

sob uma política de licença similar à bem conhecida GNU General Public License (GPL), tem sido suportado por diversos contribuidores. Sua popularidade está em constante crescimento tanto nas áreas industrial e acadêmica. Também há uma versão comercial disponível, conhecida como OMNEST.

O OMNeT++ não fornece quaisquer componentes especificadamente para simulações de redes, de modo que é disponibilizado somente a biblioteca básica do núcleo de simulação. Esta biblioteca consiste apenas do código responsável em gerenciar as simulações e pelas bibliotecas utilitárias (geração de números aleatórios, estatística, descoberta de topologias, etc.).

Existem vários modelos de simulação e frameworks, tais como, INET/MANET, MiXiM, Castalia, entre outros, que são desenvolvidos completamente independente do OMNeT++. Estes modelos proveem a estrutura otimizada para simulações de redes de computadores e arquitetura de sistemas.

Todo modelo de simulação é desenvolvido em linguagem C++ sempre na forma de módulos. Existindo a possibilidade de registrar a totalidade de eventos que ocorrem durante uma execução de uma simulação em formato de arquivo de *log* com informações detalhadas da simulação.

Para a construção das simulações, dois tipos de módulos são utilizados: módulos simples e módulos compostos. Os módulos simples formam o nível atômico mais baixo da hierarquia e implementam as ações que o módulo executa ao receber uma mensagem. A Figura 11 ilustra como os módulos compostos podem ser combinados por agrupamento de outros módulos simples e/ou compostos. Os módulos se comunicam por meio de mensagens, que são enviadas através de conexões que se interligam com outros módulos. Também é possível alterar parâmetros e campos de mensagem para fins de depuração de código.

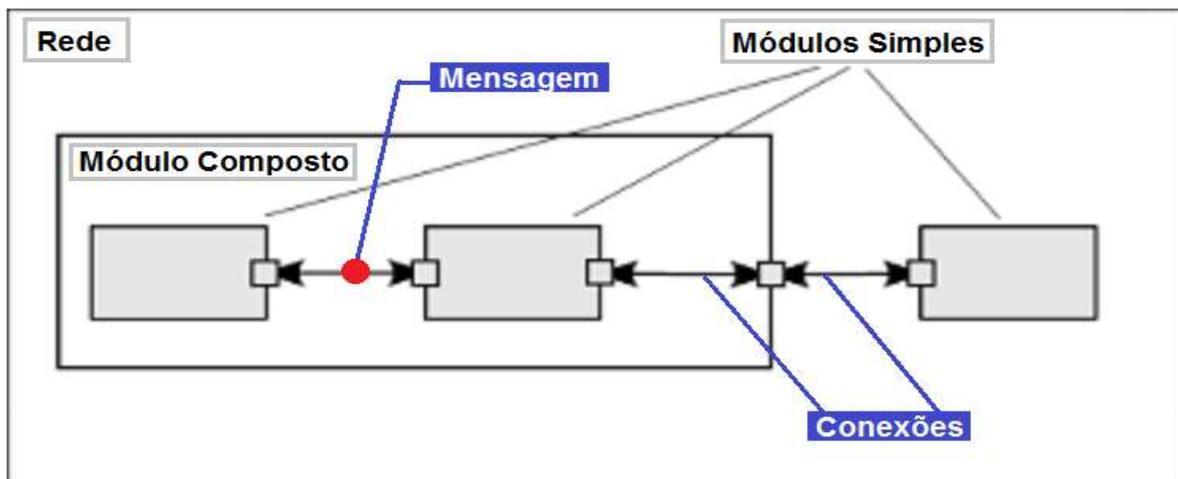


Figura 11. Módulos Simples e Módulo Composto (Adaptado de <https://omnetpp.org>)

O OMNeT++ utiliza o ambiente de desenvolvimento *Eclipse* como IDE (Integrated Design Environment) para desenvolvimento, simulações e gerenciamento dos projetos. Um exemplo da IDE é ilustrado na Figura 12. À esquerda, é disponibilizada a visão de diretório de projeto, permitindo o acesso a todos os arquivos relacionados ao projeto de simulação. Na parte central, todos os arquivos podem ser acessados, permitindo a modelagem da construção de redes, módulos, conexões e configurações. A edição em formato texto pode ser feita ao selecionar a paleta *Source* na seleção de visão de código fonte. Todas as mudanças feitas são prontamente visíveis tanto no modo texto como no modo gráfico. Esta IDE disponibiliza, também, um conjunto de ferramentas necessárias para compilação, depuração de código na execução de simulações.

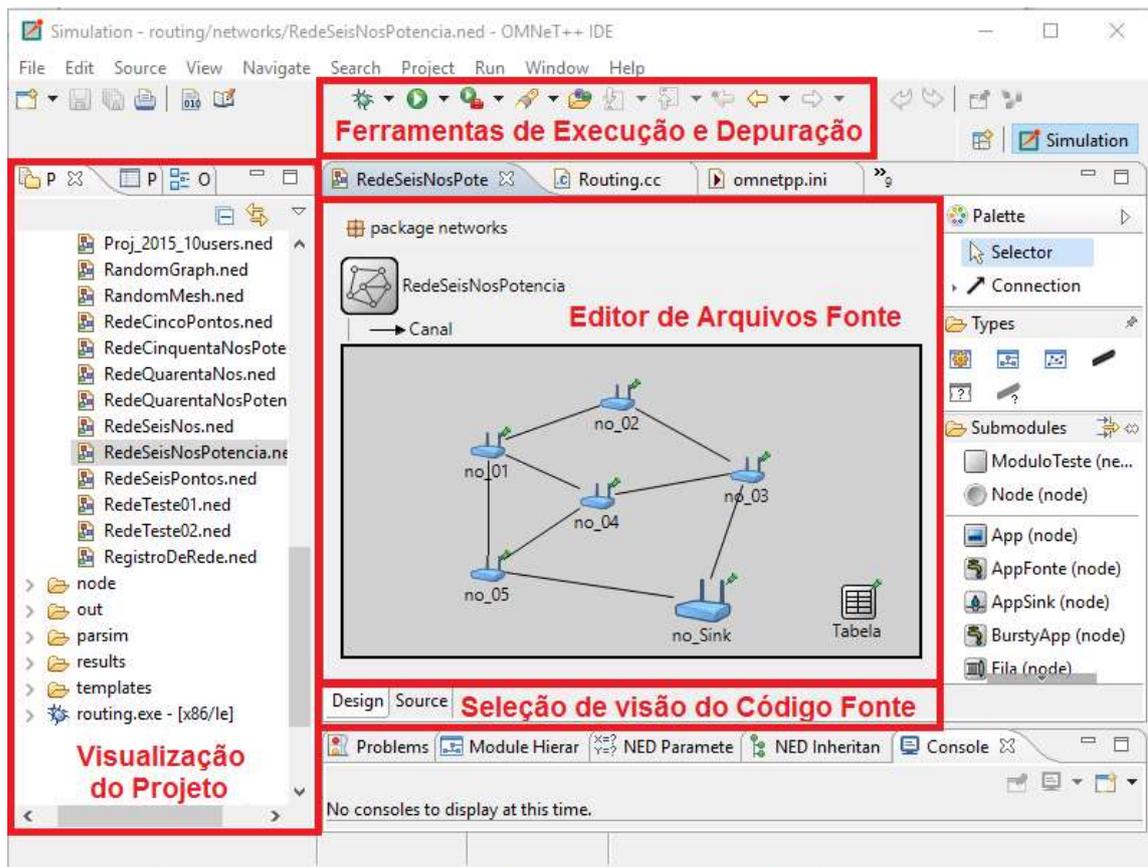


Figura 12. Visão Geral da IDE do OMNeT++ baseada em Eclipse

As simulações podem ser executadas em duas interfaces de usuário: Cmdenv ou Tkenv. A interface Cmdenv executa a simulação a partir de linha de comando e pode fazer uso de *scripts* para repetir uma execução em lote. Por outro lado, a interface Tkenv é capaz de fornecer uma representação gráfica da simulação em andamento. A Figura 13 ilustra um exemplo desta interface. Na representação da rede em simulação o quadrado em vermelho identifica o módulo corrente ativo. As mensagens transmitidas entre módulos são representadas por círculos cujas cores dependem do tipo de mensagem transmitida.

Também são apresentadas as visualizações de *log* de todos os eventos em tempo de execução, a linha de tempo da simulação em curso, como também uma lista de eventos futuros. A execução e velocidade da simulação podem ser controladas utilizando-se dos controles localizados na barra de ferramentas superior. A simulação poderá ser executada passo a passo, em velocidade normal, ou em velocidade expressa.

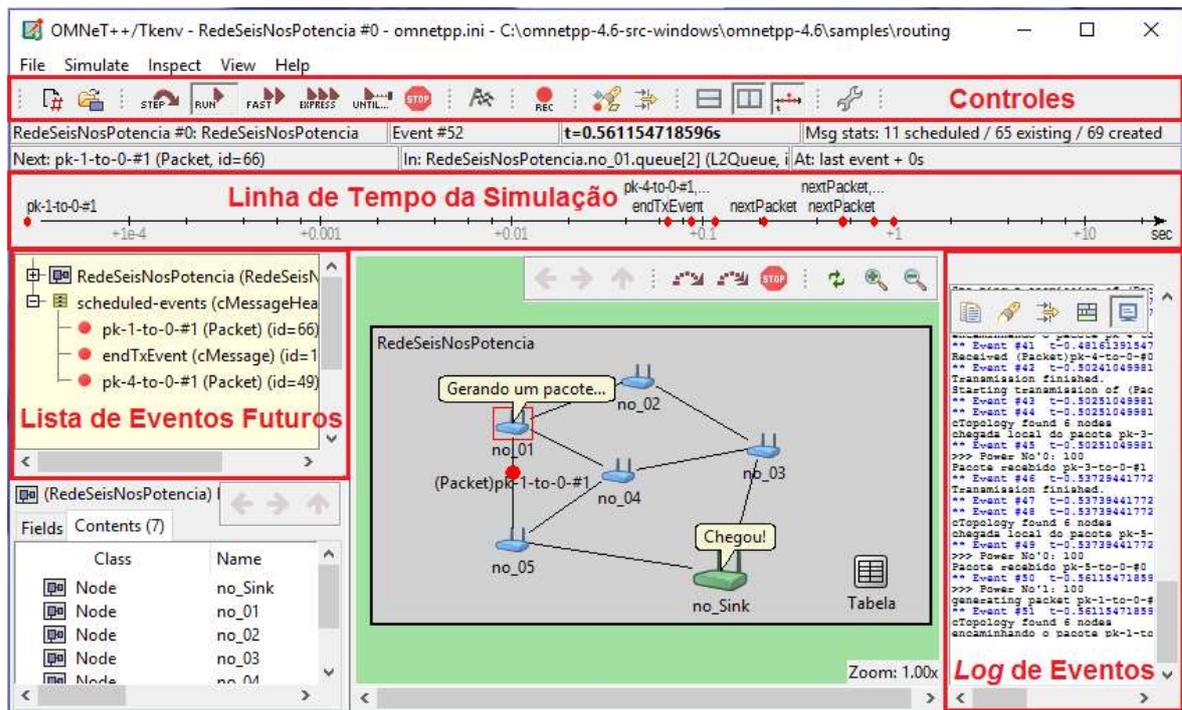


Figura 13. Visão Geral da Interface Tkenv

Também são disponibilizadas ferramentas de análise para os resultados de simulação. Os resultados podem ser manuseados, processados e visualizados em forma gráfica. Estes resultados, disponibilizados em arquivo de *log* com os dados detalhados obtidos da simulação, possibilitam, também, o processamento por qualquer ferramenta externa de análise de dados.

No desenvolvimento do atual trabalho, o OMNeT++ apresentou melhor estabilidade funcional em sistemas operacionais baseados em Linux. Durante a realização de simulações, foi observado um alto consumo de memória, limitando simulações de médio e grande porte em computadores com espaço de memória mais restrito. A configuração de todo ambiente para plena utilização requer a instalação de diversos pacotes complementares para sistemas baseados em sistema operacional Linux, porém em sistemas baseados em MS-Windows esta tarefa é melhor automatizada, facilitando nos primeiros contatos com este simulador.

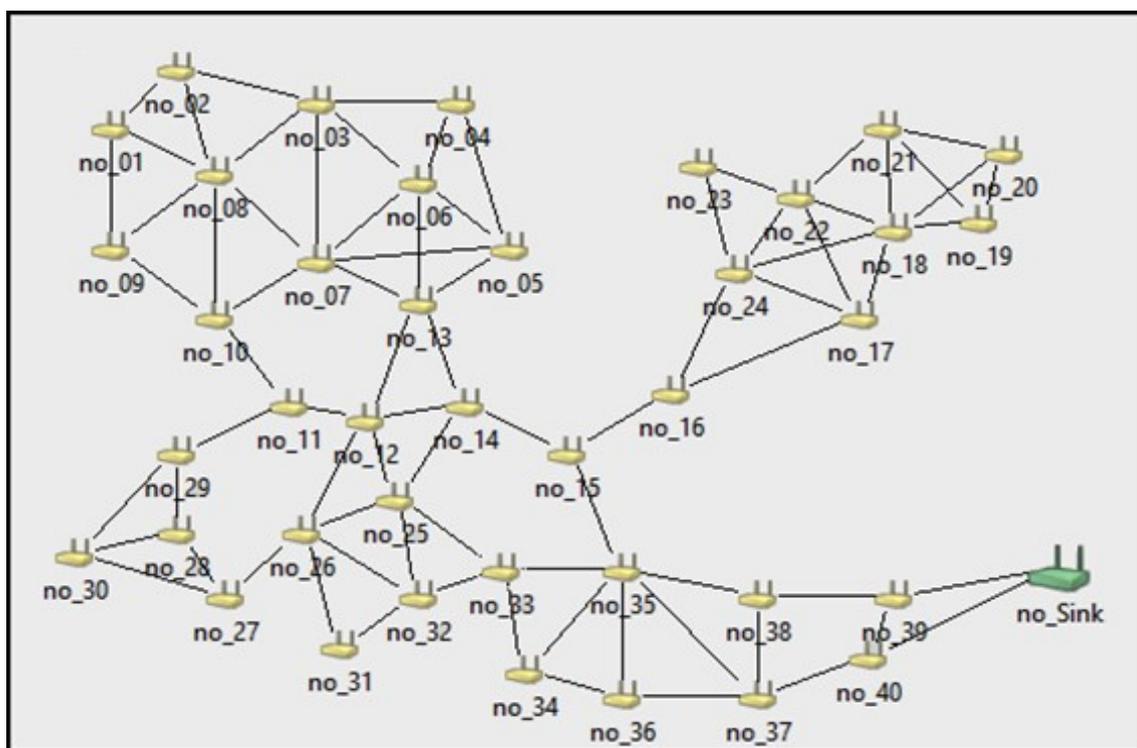
## 4.4. Exemplo de Aplicação de Encaminhamento de Menor Atraso

Apesar da disponibilidade de diversas topologias prontamente funcionais no ambiente de simulação do OMNeT++, para este trabalho, foram selecionadas duas topologias da literatura que se caracterizassem por apresentar alguma dificuldade para o encaminhamento de pacotes em rede. Em especial, possuindo pontos de gargalo de modo a causar a ocorrência de atrasos durante o encaminhamento de pacotes de dados. A ocorrência de atrasos neste contexto se deverá, particularmente, ao tempo de espera de atendimento de pacotes de dados permaneçam em filas nesses nós. A busca na literatura por topologias já utilizadas em outros trabalhos se deve ao fato de que atualmente não há um repositório específico de livre acesso de topologias de redes especificadamente para fins de simulações computacionais.

A primeira topologia da rede usada é apresentada na Figura 14 empregada originalmente em Schurgers e Srivastava (2001). Esta topologia de rede foi utilizada tendo em vista que a mesma não é de tratamento simples, uma vez que, a mesma apresenta alguns pontos de gargalo como é o caso do nó 15, em que os pacotes oriundos da sub-rede composta pelos nós de 16 a 23 podem passar somente por esse nó. A proposta de encaminhamento de menor atraso será comparada, também, com o encaminhamento baseado em menor número de pulos ou caminho mais curto.

Para a análise da topologia considerada, foram utilizados enlaces, entre nós com velocidade de 250kpbs, que é uma capacidade típica comumente utilizada em redes WBAN, na literatura. É uma capacidade baixa, mas pode ser considerada suficiente para redes de aplicações médicas para não demandar um consumo energético mais elevado. O atraso de propagação de sinal destas conexões foi considerado sem influência. Os dados de monitoração de saúde não são, normalmente, intensos, por ex., os dados de batimento cardíaco ou de pressão podem ser enviados esporadicamente. Assim, escolheu-se o tamanho dos pacotes de dados de 1024 bytes. Os pacotes de controle da rede não são considerados, uma vez que se objetivou na prova de conceito do critério de encaminhamento baseado em menores atrasos em comparação com o esquema de encaminhamento por menor número de pulos. Optou-se pelo emprego de filas de

tamanho ilimitado para estudar o encaminhamento levando em conta somente o efeito acumulativo dos pacotes no buffer. Para estudar o encaminhamento por menor atraso e com buffer limitado, deve-se levar em conta não somente o atraso, mas também a perda de pacotes, e não será objeto de estudo desta dissertação.



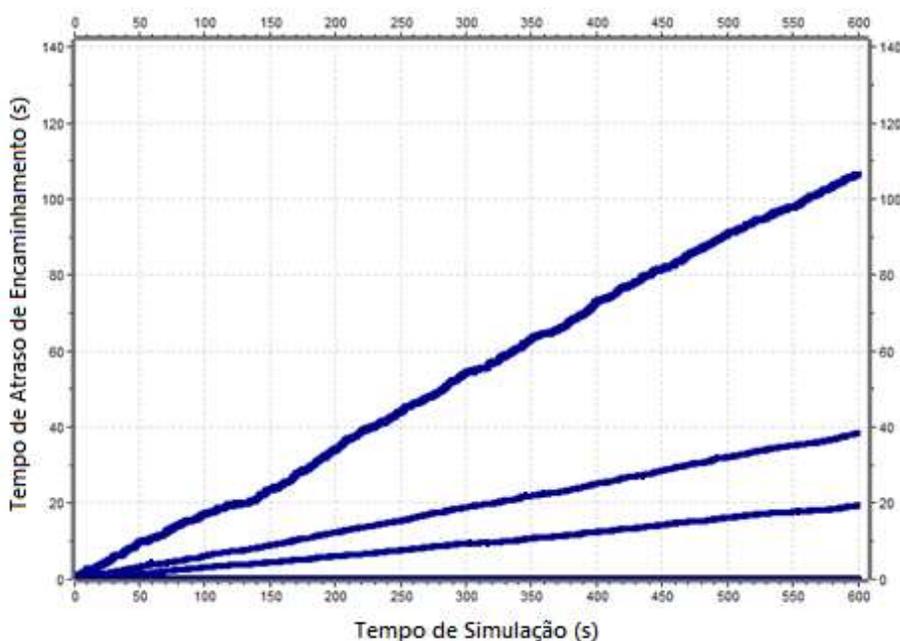
**Figura 14. Primeira Topologia de Rede Utilizada Neste Trabalho**  
(Adaptado de Schurgers e Srivastava, 2001)

Para representar os custos, isto é, os pesos de nós e enlaces no algoritmo de Dijkstra foram utilizados somente números inteiros. Para facilitar o uso de valores percentuais, optou-se em atribuir o peso inicial no valor de 100 para cada nó de rede. De modo complementar, para fins de auxiliar no critério de desempates entre rotas, para cada conexão entre nós foi atribuído o valor de peso 1. Esses pesos atribuídos são arbitrários, mas, se mantiverem a proporcionalidade em todos os nós e enlaces, não afetam o resultado da procura de caminho otimizado no algoritmo de Dijkstra.

Para fins de simular uma condição operacional de rede em alta carga, tendo em vista a topologia considerada, foi empregada uma geração poissoniana de 1,0 pacotes/seg em cada nó de rede. O tempo de simulação adotado foi de 600s.

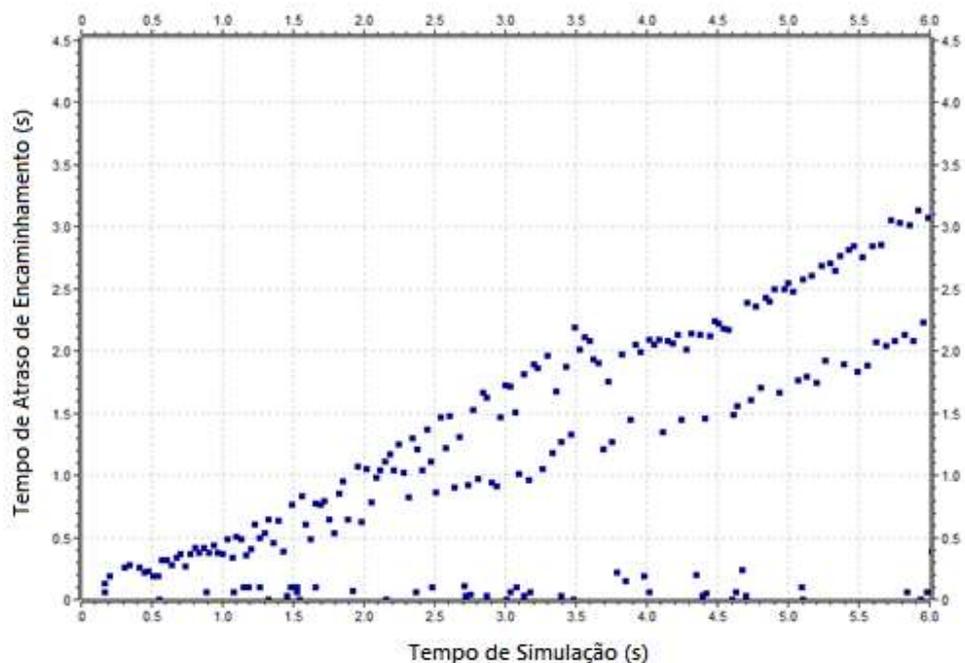
A Figura 15 apresenta uma simulação inicial exibindo os resultados da curva de atrasos para o caso de encaminhamento por menor número de pulos. Este gráfico representa os valores de atrasos de cada pacote de dados que alcançou o nó de destino *sink*. Ambos os eixos são em tempo, e os atrasos de cada um dos pacotes gerados e encaminhados ao *sink* são computados em função do tempo de simulação. Observa-se que os valores de atraso, neste caso, foram se separando em 4 grupos distintos no decorrer da simulação, conforme visualizado pelas linhas espessas de atraso desta figura.

Atenta-se ao fato de que a maior parte destes atrasos apresenta um crescimento aproximadamente linear. A não estabilização dos valores de atrasos deve-se ao fato de que alguns dos pacotes de dados levem mais tempo em gargalos estando a uma distância maior do nó de destino *sink*, em comparação com os nós que estejam nos arredores do nó *sink*.



**Figura 15. Tempo total de atraso de cada pacote da origem até o *sink* para encaminhamento por caminho de menor número de pulos**

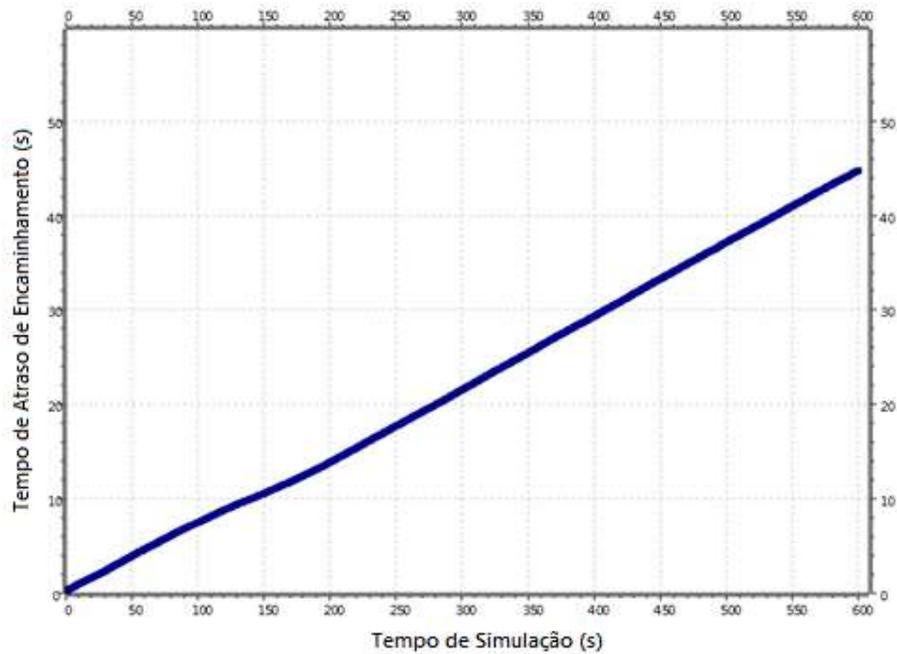
As linhas espessas de atraso, na realidade, possuem um intervalo de valores de atraso, como melhor exibido na Figura 16, que exibe os momentos iniciais da simulação, porém, com vista ampliada.



**Figura 16. Vista expandida do tempo total de atraso de cada pacote da origem até o *sink* durante os 6 segundos iniciais de simulação**

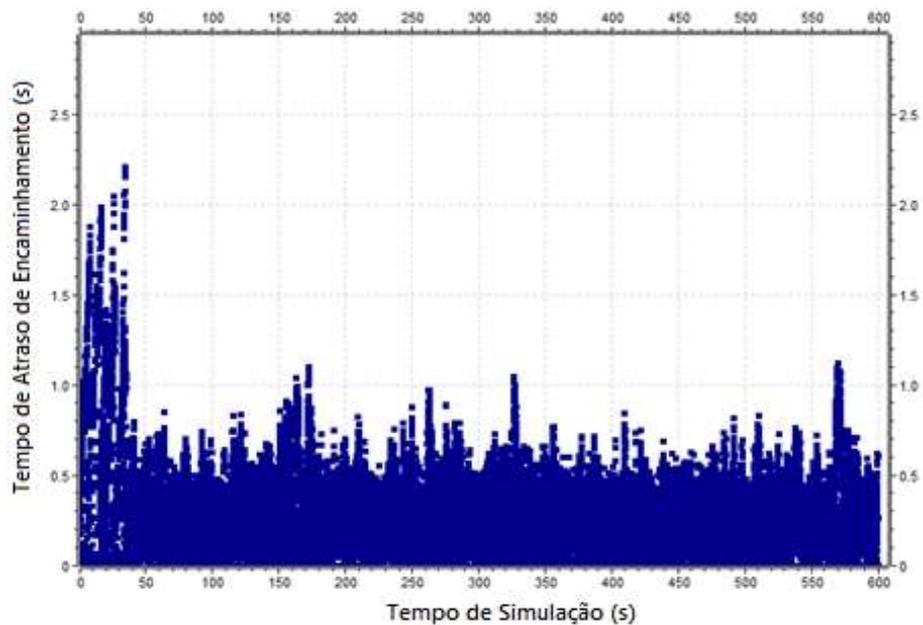
Observa-se, ainda, que a maior parte destas linhas espessas, logo, todos os atrasos de pacotes, apresenta um crescimento aproximadamente linear. O motivo deste comportamento, além da alta carga de geração de pacotes adotada, deve-se ao fato de que alguns dos pacotes de dados levam mais tempo em gargalos estando a uma distância maior do nó de destino *sink*, em comparação com os nós que estejam nos arredores do nó *sink*.

Como mostrada pela Figura 17, A média geral de atraso de chegada de todos os pacotes até o nó *sink* para a simulação de 600s de duração chegou a ficar acima dos 40s. As variações de atrasos atingiram valores superiores a 108 segundos. Estas condições não são adequadas para as redes de aplicações médicas, pois os pacotes com maiores atrasos podem ser pacotes que contenham dados emergenciais. Portanto, a busca por um tipo de encaminhamento que possa dar menores valores de atrasos é, de fato, relevante para a utilização em redes de aplicações médicas.



**Figura 17. Médias gerais de atraso de cada pacote da origem até o *sink* para encaminhamento por caminho de menor número de pulos**

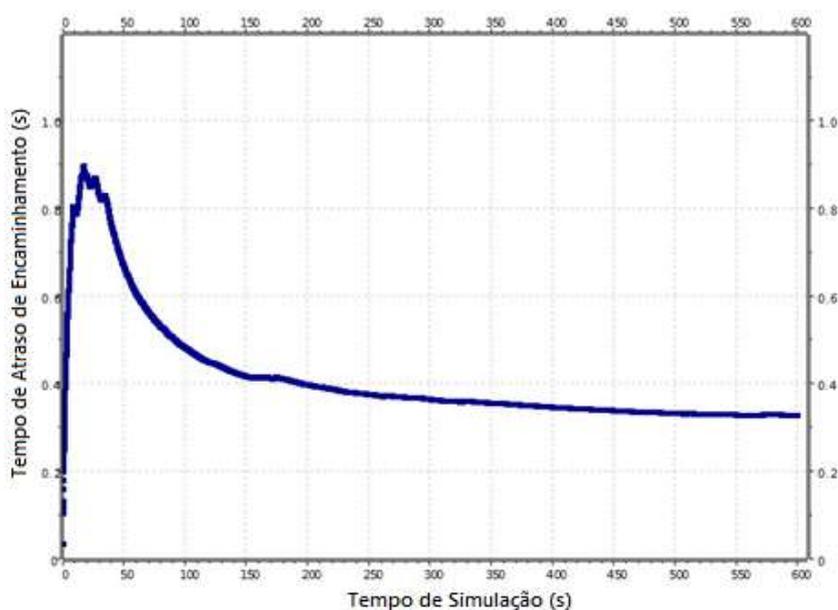
A Figura 18, por outro lado, mostra os resultados dos atrasos, simuladas nas mesmas condições, porém, adotando-se critério de encaminhamentos por atraso mínimo, proposto neste trabalho. Os atrasos de pacotes ao nó *sink* têm o comportamento melhor otimizado.



**Figura 18. Tempo total de atraso de cada pacote da origem até o *sink* para encaminhamento de menor atraso de peso fixo**

Neste caso, foi inserido um algoritmo de pesos, baseando-se na taxa de ocupação de fila de pacotes em cada nó. Observa-se, neste caso, uma região de instabilidade no início de operação da rede, em que os atrasos são relativamente altos. Entretanto, após este momento inicial ocorre uma estabilização na rede, provendo assim, um regime de atrasos menores. Observou-se que a rede alcançou um esquema de encaminhamento de pacotes melhor otimizado após aproximadamente os 40 s iniciais de simulação.

A Figura 19 ilustra a evolução da média geral dos valores de atrasos ocorridos dos pacotes até o nó *sink*. A média geral é calculada pela somatória total de atrasos ocorridos pela quantidade de pacotes que foram recebidos. O atraso médio geral de pacotes de dados para o nó *sink* ficou em 328 ms após 600 s de simulação.



**Figura 19. Média geral de atraso dos pacotes da origem até o *sink* para encaminhamento de menor atraso de peso fixo**

Para a atualização das tabelas de roteamento, adotou-se, neste caso, o mecanismo de gatilho como ilustra o algoritmo abaixo.

ENTRADA:

Valor\_de\_Gatilho: NUMÉRICO

Quantidade\_de\_nós: NUMÉRICO

Tamanho\_da\_fila: VETOR NUMÉRICO

SAÍDA:

Peso\_do\_nó: VETOR NUMÉRICO

DECLARA:

Gatilho: BOLEANO

```

1: Gatilho ← FALSO
2: PARA i = 0 ATÉ Quantidade_de_nós FAÇA
3:     SE ( Tamanho_da_fila[i] > Valor_de_Gatilho ) ENTÃO
4:         Gatilho ← TRUE
5: FIM-PARA
6: SE ( Gatilho == TRUE ) ENTÃO
7:     PARA i = 0 ATÉ Quantidade_de_nós FAÇA
8:         SE ( Tamanho_da_fila[i] == 0 ) ENTÃO
9:             Peso_do_nó[ i ] ← 100
10:        SENÃO
11:            Peso_do_nó[ i ] ← 100 + 125
12:    FIM-PARA
13: EXECUTA ALGORITMO DIJKSTRA

```

Neste caso, com a condição de disparo do gatilho, todo nó que possua qualquer número de pacotes em fila receberá um aumento fixo de peso na ordem de 125%. Por fim, o algoritmo de Dijkstra é executado fazendo-se uso da nova associação de pesos nos nós durante o cálculo dos novos percursos para encaminhamento de pacotes.

Apesar da obtenção de um comportamento estabilizado de atrasos durante a simulação. Ainda é observada, pelo gráfico da Figura 18, a ocorrência de valores de pico de atrasos maiores em alguns momentos. A ocorrência destes momentos se deve, em partes, ao fato de que foi utilizado um único valor fixo de incremento de peso (125 %) durante as ocorrências da condição de gatilho. Para fins experimentais, neste estudo o valor de gatilho foi fixado em 25 pacotes.

Em seguida, objetivando obter atrasos menores, implementou-se o critério de atribuição variável de incrementos de pesos para cada nó. Os pesos atribuídos seriam, neste caso, influenciados conforme a ocupação gradual das filas de cada nó.

O algoritmo abaixo apresenta o emprego do uso incremental de pesos variando em três níveis diferentes em conformidade com a condição de ocupação de pacotes em fila.

ENTRADA:

Valor\_de\_Gatilho: NUMÉRICO

Quantidade\_de\_nós: NUMÉRICO

Tamanho\_da\_fila: VETOR NUMÉRICO

SAÍDA:

Peso\_do\_nó: VETOR NUMÉRICO

DECLARA:

Gatilho: BOLEANO

1: Gatilho  $\leftarrow$  FALSO

2: PARA  $i = 0$  ATÉ Quantidade\_de\_nós FAÇA

3: SE ( Tamanho\_da\_fila[ $i$ ] > Valor\_de\_Gatilho ) ENTÃO

4: Gatilho  $\leftarrow$  TRUE

5: FIM-PARA

6: SE ( Gatilho == TRUE ) ENTÃO

7: PARA  $i = 0$  ATÉ Quantidade\_de\_nós FAÇA

8: ESCOLHA Tamanho\_da\_fila[ $i$ ]

9: CASO > 5 FAÇA

10: Peso\_do\_nó[ $i$ ]  $\leftarrow$  100 + 124

11: CASO > ( Valor\_de\_Gatilho / 2 ) FAÇA

12: Peso\_do\_nó[ $i$ ]  $\leftarrow$  100 + 125

13: CASO > ( Valor\_de\_Gatilho - 5 ) FAÇA

14: Peso\_do\_nó[ $i$ ]  $\leftarrow$  100 + 126

15: SENÃO

16: Peso\_do\_nó[ $i$ ]  $\leftarrow$  100

17: FIM-ESCOLHA

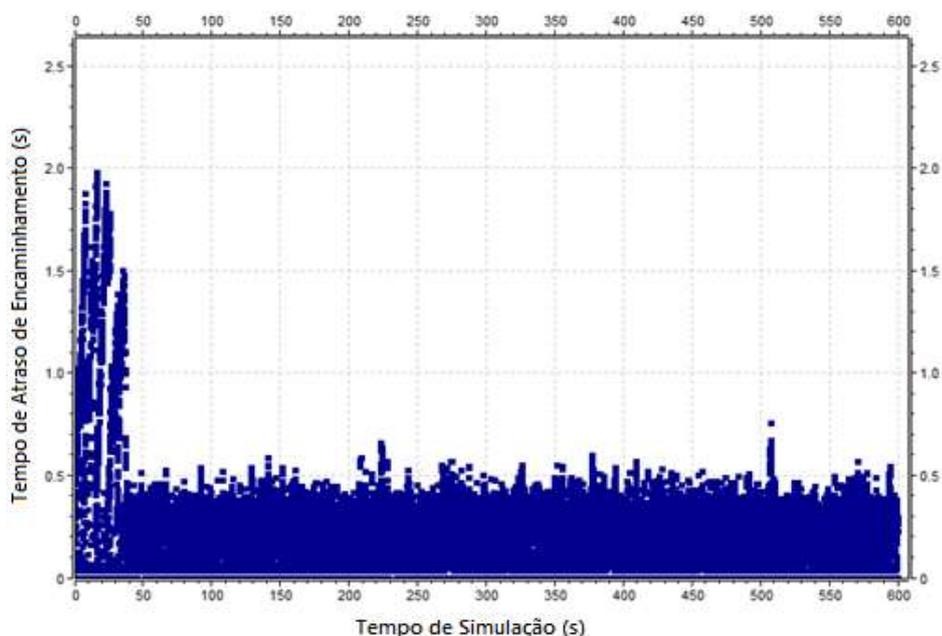
18: FIM-PARA

19: EXECUTA ALGORITMO DIJKSTRA

Inicialmente, verifica-se a condição de disparo do gatilho. Quando a condição de gatilho é alcançada, aloca-se um peso ao nó em conformidade com a ocupação momentânea da fila de pacotes em espera. Para os nós de até 5 pacotes em fila, não há nenhum incremento no peso do nó. Para acima de 5 pacotes, os nós receberão um incremento de 124% em seus pesos. Os nós que tiverem uma quantidade de pacotes acima da metade do valor de gatilho receberão um incremento de 125%. E para os nós que possuam uma quantidade de pacotes em fila acima de 5 pacotes para alcançar o valor de gatilho, receberão o incremento de 126% em seus pesos. Por fim, o algoritmo de Dijkstra é executado fazendo-se uso da nova associação de pesos nos nós de rede.

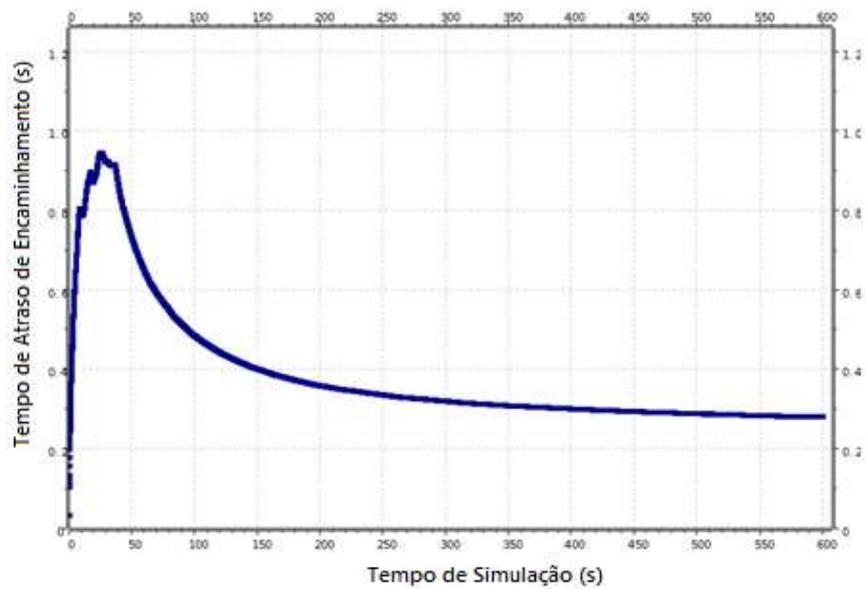
O critério utilizado neste estudo considerando uma ocupação a partir de 5 pacotes para aplicação complementar inicial de pesos e de valor de 5 pacotes abaixo do valor de gatilho foram valores que levaram em conta a proporção com o valor de gatilho a ser adotado. Neste caso para um gatilho de 25 pacotes, foram considerados 20%, ou seja, 5 pacotes.

A Figura 20 apresenta os resultados referentes aos tempos totais de atraso ao utilizar o algoritmo de pesos variáveis. É verificado, primeiramente, que houve uma redução da ocorrência de picos de atrasos maiores. Observa-se, também, que os valores máximos de pico são menores em relação aos valores máximos obtidos no encaminhamento de atraso mínimo de peso fixo.



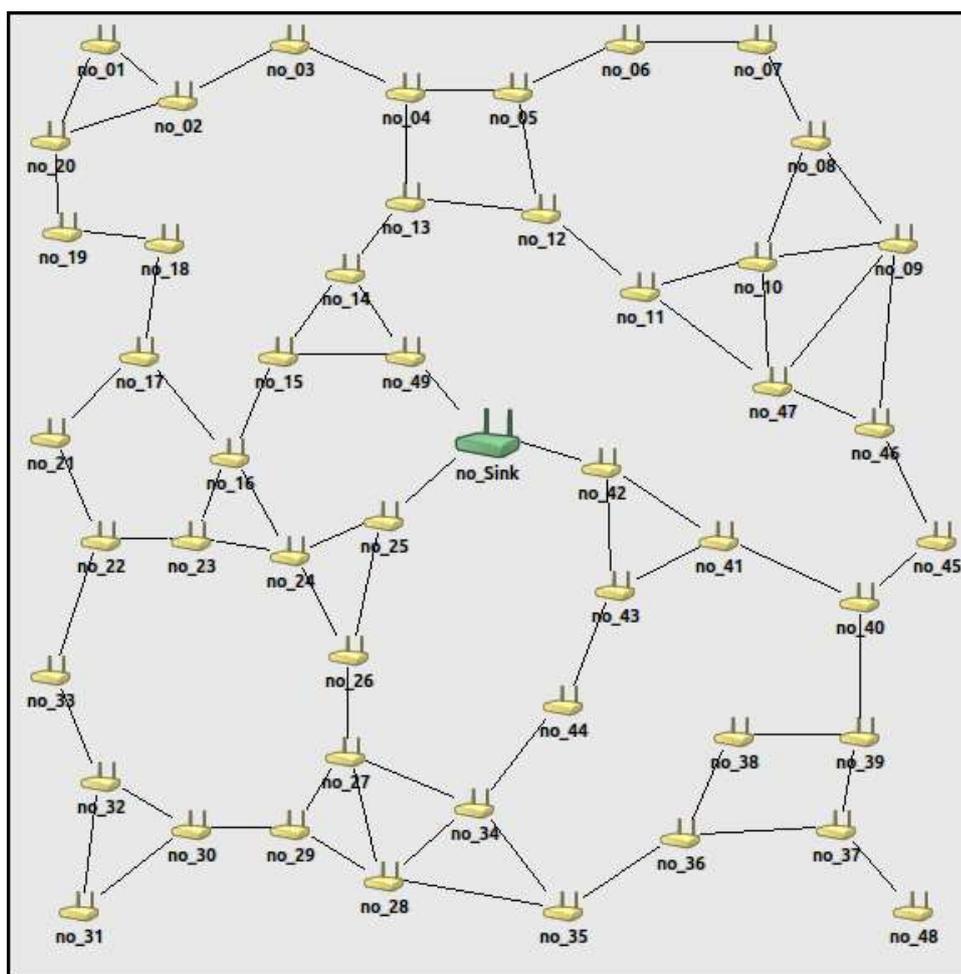
**Figura 20. Tempo total de cada pacote da origem até o sink para encaminhamento por menor atraso de peso variável**

A Figura 21 ilustra a evolução da média geral dos valores de atrasos dos pacotes até o nó sink ao utilizar o algoritmo de pesos variáveis. Neste caso, o atraso médio geral da chegada de pacotes de dados até o nó sink ficou em 281ms durante 600s de simulação. Os valores de atrasos médios gerais também foram menores ao se comparar com o algoritmo de incremento de peso fixo.



**Figura 21. Média geral de atraso dos pacotes da origem até o *sink* para encaminhamento por menor atraso de peso variável**

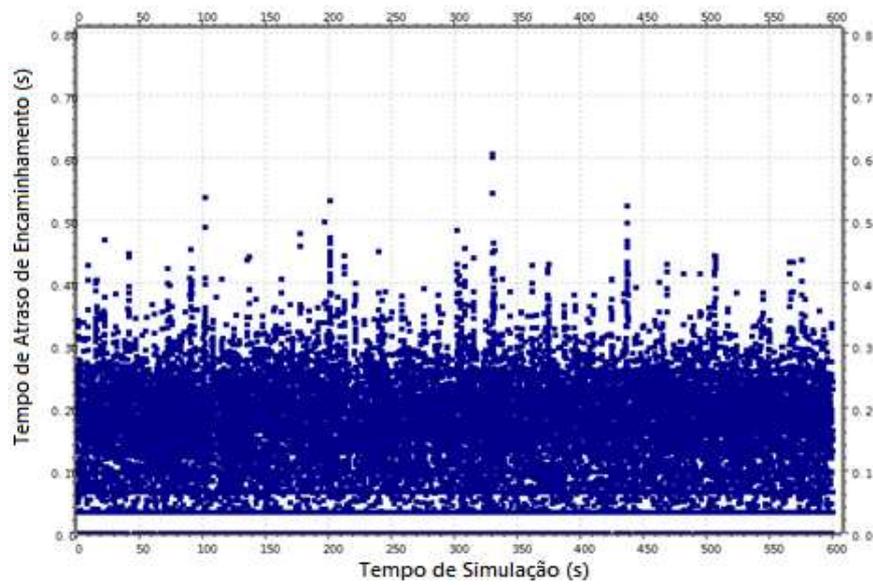
A segunda topologia da rede analisada, sendo ilustrada na Figura 22, foi empregada originalmente em Suhonen, Hämäläinen e Hännikäinen (2009). Esta topologia de rede, apesar de possuir nove nós a mais em relação à primeira topologia analisada, não possui pontos de gargalo mais evidenciados. Também é uma rede que, em princípio, não possui nenhuma sub-rede isolada não demonstrando maiores problemas em sua estrutura topológica.



**Figura 22. Segunda topologia de rede utilizada neste trabalho  
(Adaptado de Suhonen, Hämäläinen e Hännikäinen , 2009)**

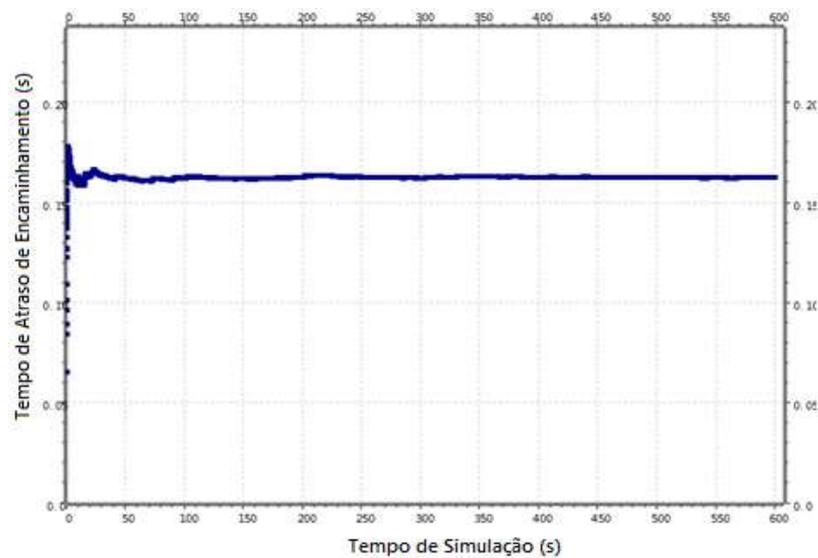
Foram aplicados, nesta topologia, os mesmos procedimentos sob as mesmas condições da primeira topologia de rede analisada. Compararam-se os resultados obtidos para o encaminhamento baseado em menor número de pulos com as propostas de encaminhamento por menor atraso.

Nas mesmas condições de alta carga, as três técnicas aplicadas demonstraram resultados equivalentes. A Figura 23 apresenta o atraso máximo abaixo de 700ms, demonstrando um funcionamento estável. Não houve ocorrências de atrasos mais significativos.



**Figura 23.** Tempo total de atraso de cada pacote da origem até o *sink*. Este gráfico representa um resultado típico para os três tipos de encaminhamentos

A Figura 24 indica que os valores de média geral de atrasos registrados não superaram 200ms. Evidencia-se, assim, um comportamento compatível para aplicações que requeiram baixa latência na entrega de pacotes de dados.



**Figura 24.** Média geral de atraso de cada pacote da origem até o *sink*

## 4.5. Conclusões

Neste capítulo foi proposta a técnica de encaminhamento de pacotes por menor atraso e o seu desempenho comparado. A técnica proposta utiliza um mecanismo de gatilho conforme a taxa de ocupação das filas dos nós. Possuindo duas variações de atribuição para incrementos de pesos em cada nó, uma de peso fixo e a outra variando de acordo com a ocupação das filas.

Para uma rede que possui certa assimetria, com pontos de gargalo que podem gerar atrasos consideráveis no tráfego de pacotes, ambas as variações da técnica proposta proporcionaram maior estabilidade e menores atrasos de operação. Portanto, oferecendo desempenho superior em comparação com a técnica de encaminhamento por caminho mais curto, nos aspectos analisados.

Entretanto, para uma topologia de rede mais simétrica, em que existem vários caminhos alternativos para um mesmo destino, não ocorreram variações significativas entre as técnicas utilizadas, apresentando resultados equivalentes para os tipos de encaminhamentos quando comparados.

Por fim, destaca-se que a técnica proposta demonstra ser adequada para qualquer tipo de rede. Porém, propiciando um melhor desempenho para redes com gargalos, quando os pacotes tenderiam a ter atrasos crescentes.

## **Capítulo 5. Encaminhamento de Pacotes Considerando Consumo Energético dos Nós**

### **5.1. Introdução**

No capítulo anterior, foi mostrado que o algoritmo de menor atraso proposto, ao escolher as rotas de menor atraso, tende a oferecer melhores respostas em relação ao encaminhamento de pacotes em uma rede, reduzindo o tempo de transporte dos pacotes de dados de um nó origem até o nó *sink*. Porém, nada foi salientado em relação ao consumo energético dos nós.

O consumo energético torna-se relevante para redes de aplicação médica, ao se considerar a necessidade por uma operação estável em condições de restrição energética. Podem-se citar como aspectos de restrições energéticas, algumas condições variando desde instabilidades no suprimento de energia e localização de difícil acesso para a execução de trabalhos de manutenção quando há limitação de carga das baterias acopladas a estes nós.

Neste capítulo, será estudado, primeiramente, o comportamento de consumo de energia considerando os encaminhamentos pelos caminhos mais curto e de menor atraso. A seguir, é feita a proposta de uma técnica de característica híbrida de encaminhamento de pacotes por menor atraso levando em conta o consumo de energia dos nós de rede.

### **5.2. Estudo do Consumo Energético no Encaminhamento de Pacotes**

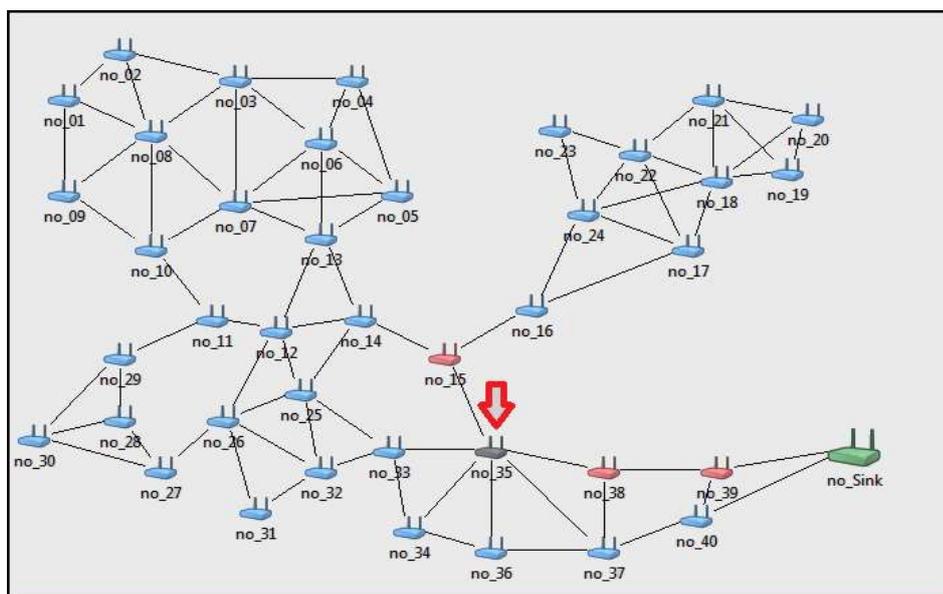
Utilizando-se dos cenários de redes analisados no capítulo anterior, foram realizadas simulações, considerando que cada nó possuísse uma capacidade limitada de energia. Em termos de consumo energético, foi suposto que cada nó de rede possuísse uma energia suficiente para enviar (tanto a transmissão de pacote gerado no nó como a retransmissão de um pacote que chegou de outro nó) de somente 150.000 pacotes.

Nestas condições, as simulações foram executadas até o momento que ocorresse a queda de qualquer um dos nós de rede por esgotamento da energia, impossibilitando novos envios de pacotes pelo nó.

Para melhor ilustrar o comportamento de operação da rede, foram adotados os seguintes critérios de cores dos nós de rede para as figuras que se seguem:

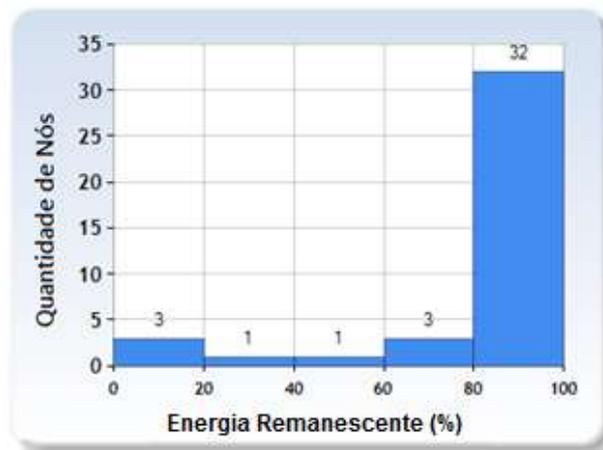
- Verde: Nó Sink ( Sem restrições de consumo energético );
- Azul: Nó com carga energética residual maior que 50%;
- Laranja: Nó com carga energética residual na faixa de 30 e 50%;
- Vermelho: Nó com carga energética residual abaixo de 30%;
- Cinza: Nó com a carga energética totalmente esgotada.

No caso de algoritmo de caminho mais curto, durante a simulação, a rede se manteve energeticamente intacta até 4.297 segundos. Neste momento, como mostra a Figura 25, ocorre o esgotamento de toda energia disponível do nó 35 em cor cinza, quando este nó retransmite os 150.000 pacotes possíveis. Os nós de números 15, 38 e 39 em cor vermelha, indicam que estes nós finalizaram a simulação com uma situação de carga residual abaixo de 30%.



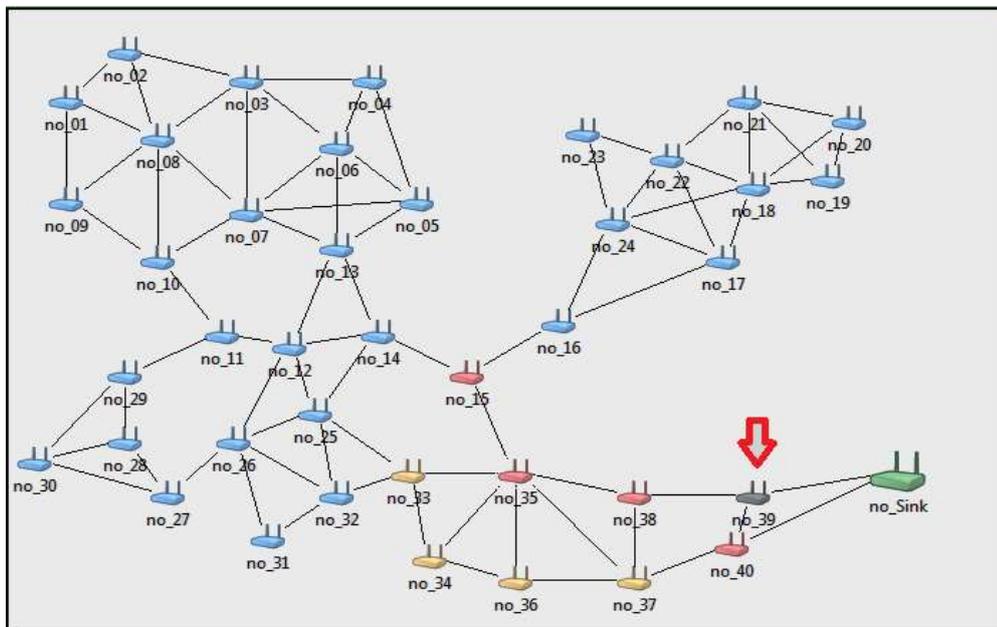
**Figura 25. Esgotamento energético do nó 35 após 4.297 segundos de simulação para a técnica de encaminhamento por caminho mais curto**

Para uma visão mais detalhada da distribuição de consumo energético, a Figura 26 ilustra o histograma da condição de carga energética dos nós da rede ao final da simulação. Nota-se que 32 de nós finalizaram a simulação com uma carga energética remanescente de acima dos 80%, indicando um alto potencial energético subutilizado.



**Figura 26. Histograma de distribuição de consumo energético para a técnica de encaminhamento por caminho mais curto**

Por outro lado, com a técnica de menor atraso, desenvolvido neste trabalho, obteve-se um funcionamento energeticamente intacto até o tempo de 6.538 segundos. Neste momento, como mostra a Figura 27, o nó 39 em cinza indica que sua energia disponível foi totalmente esgotada. Os nós de números 15, 35, 38 e 40 em cor vermelha sinalizam uma situação de carga residual abaixo de 30%. E os nós de número 33, 34, 36 e 37 em amarelo sinalizam a situação de carga residual na faixa de 30 a 50%.

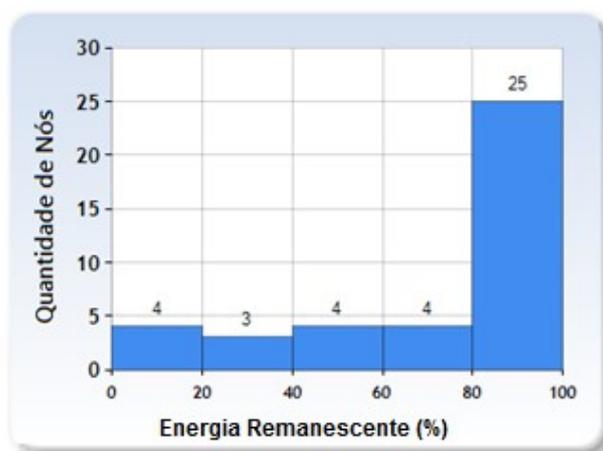


**Figura 27. Esgotamento energético do nó 39 após 6.538 segundos de simulação para a técnica de encaminhamento por caminho de menor atraso**

Observa-se, neste caso, que ao adotar a técnica de menor atraso, obtém-se um ganho de sobrevivência energética da ordem de 52%. Em termos gerais, a melhor distribuição de rotas do encaminhamento baseado em menor atraso influenciou, neste caso, em uma melhor distribuição de consumo energético.

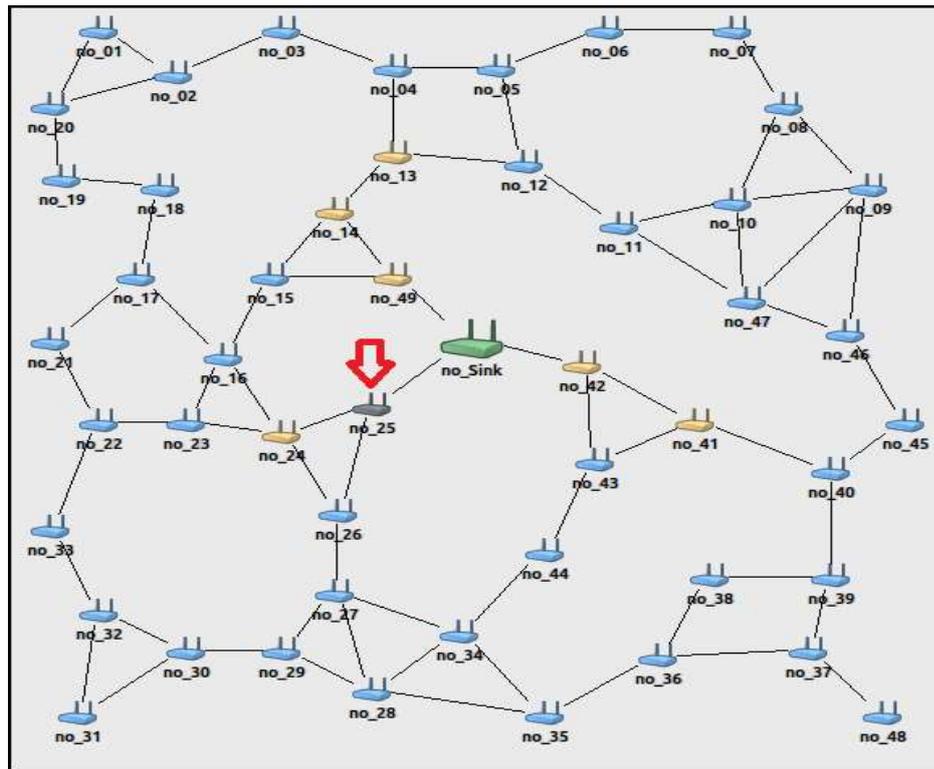
O histograma da Figura 28 ilustra a distribuição final da carga energética residual de toda a rede, considerando a técnica de encaminhamento por menor atraso. Em comparação ao histograma da Figura 26, nota-se que mesmo em se tratando de uma rede de topologia irregular com pontos de gargalo, ocorre uma melhor distribuição de consumo energético, havendo uma quantidade de 62,5% do total de nós com carga energética remanescente acima de 80%.

Em ambos os casos simulados, também são observados que o ramo final superior composto pelo ponto de gargalo do nó 15 e pelos nós 35, 38 e 39 sofrem consumo prematuro e conseqüente queda do pleno funcionamento da rede.



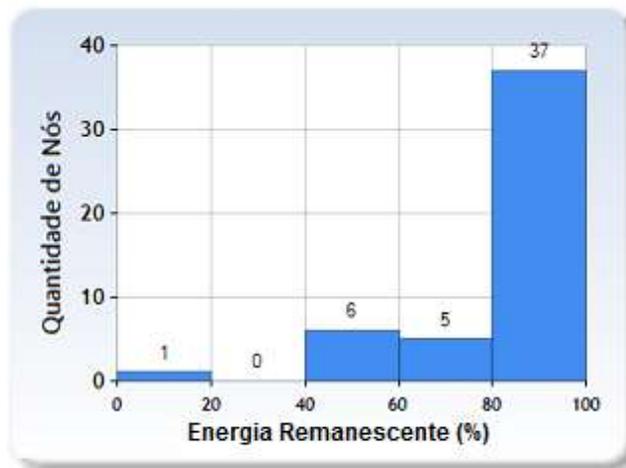
**Figura 28. Histograma de distribuição de consumo energético para a técnica de encaminhamento por menor atraso**

Por outro lado, ao se utilizar a segunda topologia analisada neste trabalho, não houve diferença no consumo energético entre as técnicas de encaminhamento mais curto e de menor atraso. A Figura 29 ilustra a condição final da rede após o esgotamento energético do nó 25 após 7.119 segundos de simulação.



**Figura 29. Esgotamento energético do nó 25 após 7.119 segundos de simulação para as duas técnicas utilizadas**

Na Figura 30 é ilustrado o histograma referente à situação final da rede. Nota-se que 75% do total de nós finalizaram a simulação com uma carga energética remanescente na classe de acima dos 80%.



**Figura 30. Histograma de distribuição de consumo energético para as técnicas de encaminhamento por caminho mais curto e por menor atraso**

### 5.3. Técnica de Encaminhamento Baseada em Menor Atraso e Consumo Energético

Nesta subseção é proposto um algoritmo de encaminhamento que combina a técnica baseada em menor atraso com o consumo de energia. A ideia é encaminhar os pacotes de tal modo que o caminho de menor atraso seja escolhido levando em conta a busca por um melhor balanceamento de consumo de energia entre os nós.

Adicionando-se, em relação à técnica baseada em menor atraso, o critério complementar de pesos com base na capacidade energética de cada nó, a rede de nós torna-se capaz de operar plenamente por tempos mais longos. Uma vez que o tráfego de rede estará evitando os nós cujas reservas energéticas estejam mais baixas.

Para a atualização das tabelas de roteamento, adotou-se, neste caso, o mecanismo de gatilho como ilustra o algoritmo abaixo.

ENTRADA:

Valor\_de\_Gatilho: NUMÉRICO  
Quantidade\_de\_nós: NUMÉRICO  
Tamanho\_da\_fila: VETOR NUMÉRICO  
Energia\_Disponivel: VETOR NUMÉRICO

SAÍDA:

Peso\_do\_nó: VETOR NUMÉRICO

DECLARA:

Gatilho\_Energético: BOLEANO  
Gatilho\_Fila: BOLEANO

```
1: Gatilho_Energético ← FALSO
2: Gatilho_Fila      ← FALSO
3: PARA i = 0 ATÉ Quantidade_de_nós FAÇA
4:     SE ( Tamanho_da_fila[i] > Valor_de_Gatilho ) ENTÃO
5:         Gatilho_Fila      ← TRUE
6:     SE ( Energia_Disponivel[i] < 50 ) OU ( Energia_Disponivel[i] < 30 ) ENTÃO
7:         Gatilho_Energético ← TRUE
8: FIM-PARA
9: SE ( Gatilho_Fila == TRUE ou Gatilho_Energético == TRUE ) ENTÃO
10:  PARA i = 0 ATÉ Quantidade_de_nós FAÇA
11:      SE ( Gatilho_Fila == TRUE ) ENTÃO
12:          ESCOLHA Tamanho_da_fila[i]
13:              CASO Tamanho_da_fila[i] > 5                                FAÇA
14:                  Peso_do_nó[ i ] ← 100 + 124
15:              CASO Tamanho_da_fila[i] > ( Valor_de_Gatilho / 2 )        FAÇA
```

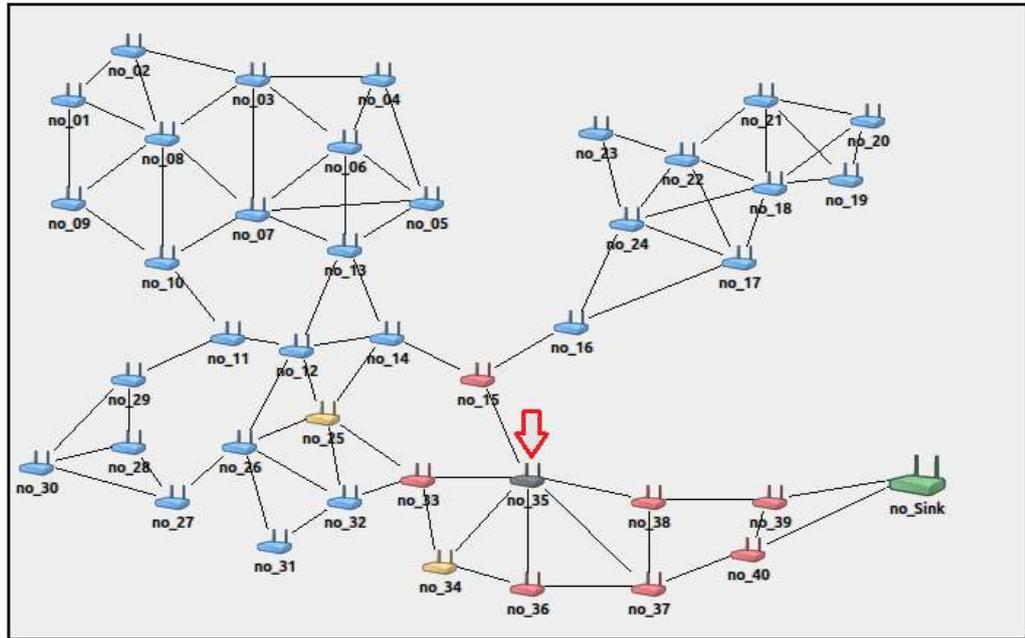
```

16:                               Peso_do_nó[i] ← 100 + 125
17:                               CASO Tamanho_da_fila[i] > (Valor_de_Gatilho - 5 )           FAÇA
18:                               Peso_do_nó[i] ← 100 + 126
19:                               SENÃO
20:                               Peso_do_nó[i] ← 100
21:                               FIM-ESCOLHA
22:                               SE ( Gatilho_Energético == TRUE ) ENTÃO
23:                               ESCOLHA Energia_Disponivel[i]
24:                               CASO Energia_Disponivel[i] < 50 e Energia_Disponivel[i] >= 30   FAÇA
25:                               Peso_do_nó[i] ← Peso_do_nó[i] + 500
26:                               CASO Energia_Disponivel[i] < 30                               FAÇA
27:                               Peso_do_nó[i] ← Peso_do_nó[i] + 1000
28:                               FIM-ESCOLHA
29:                               FIM-PARA
30:                               EXECUTA ALGORITMO DIJKSTRA

```

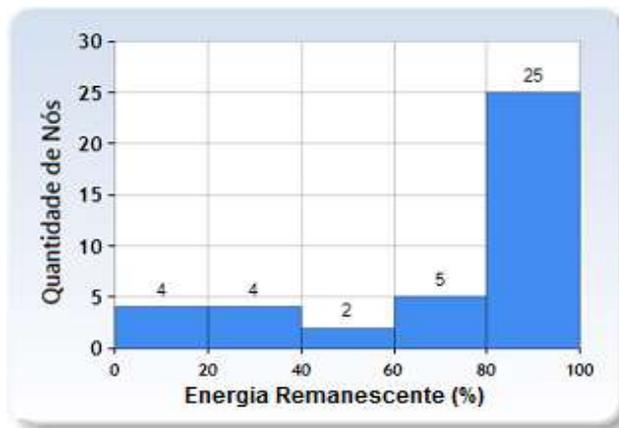
No algoritmo proposto, foi adicionado um critério de pesos, baseando-se na energia remanescente disponível em cada nó. No momento em que qualquer nó alcance a condição energética de 50% ou 30% da capacidade inicial de carga, será feito um incremento de peso na ordem de 500% ou 1000%, respectivamente. Esses incrementos são valores empíricos, e foram atribuídos pesos de ordem de grandeza suficiente para reduzir consideravelmente as chances de utilização dos nós que demonstrem um alto consumo energético operacional. Por fim, o algoritmo de Dijkstra é executado, fazendo-se uso da nova atribuição de pesos nos nós de rede, e os novos percursos para encaminhamento de pacotes são calculados.

Na primeira topologia analisada, ao ser considerado a técnica de encaminhamento baseada em menor atraso com o consumo energético, a rede manteve-se energeticamente intacta até 7.201 segundos de simulação. Neste momento, como mostra a Figura 31, ocorre o esgotamento de toda energia disponível do nó 35 em cor cinza.



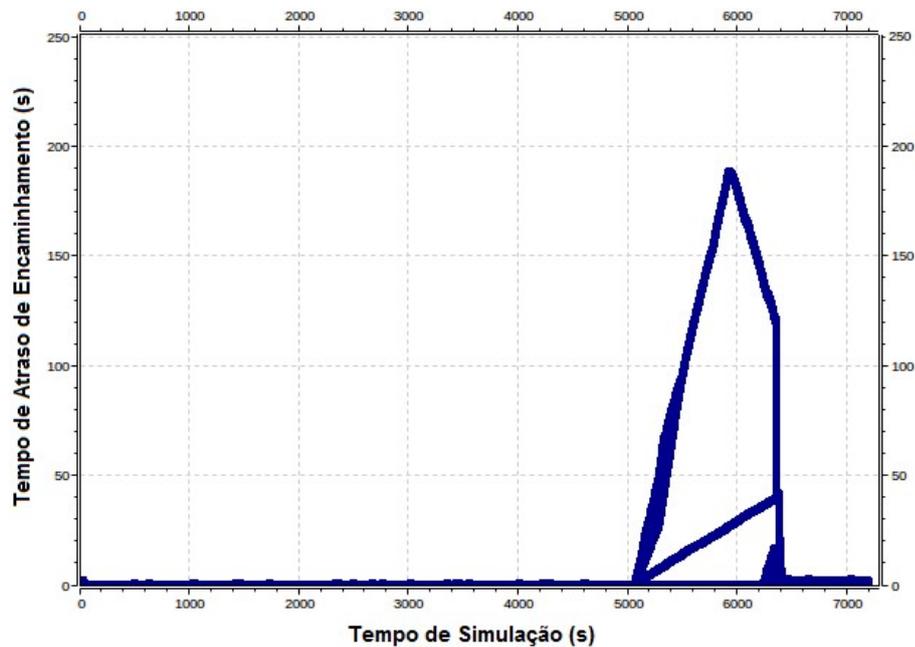
**Figura 31. Esgotamento energético do nó 35 após 7.201 segundos de simulação, utilizando a técnica de menor atraso e consumo de energia**

Para uma visão mais detalhada da distribuição de consumo energético a Figura 32 ilustra o histograma da condição de carga energética dos nós de rede ao final da simulação. Nota-se que 25 nós finalizaram a simulação com uma carga energética remanescente de acima dos 80%, caracterizando uma melhoria em relação aos critérios anteriores no tocante ao potencial energético subutilizado na rede.



**Figura 32. Histograma de distribuição de consumo energético para a técnica de encaminhamento por menor atraso e consumo de energia**

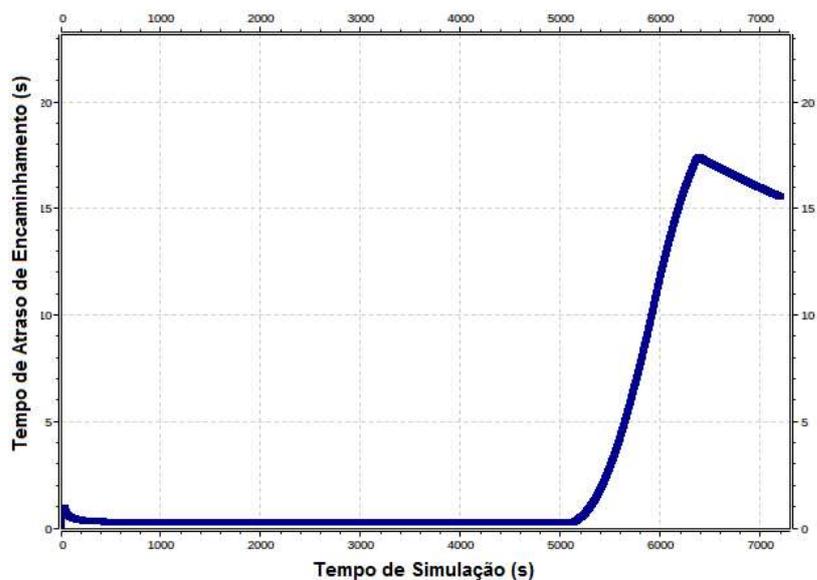
A Figura 33, a seguir, apresenta os resultados da curva de atrasos para o caso de encaminhamento por menor atraso e consumo de energia.



**Figura 33. Tempo total de cada pacote da origem até o *sink* para encaminhamento por menor atraso e consumo de energia**

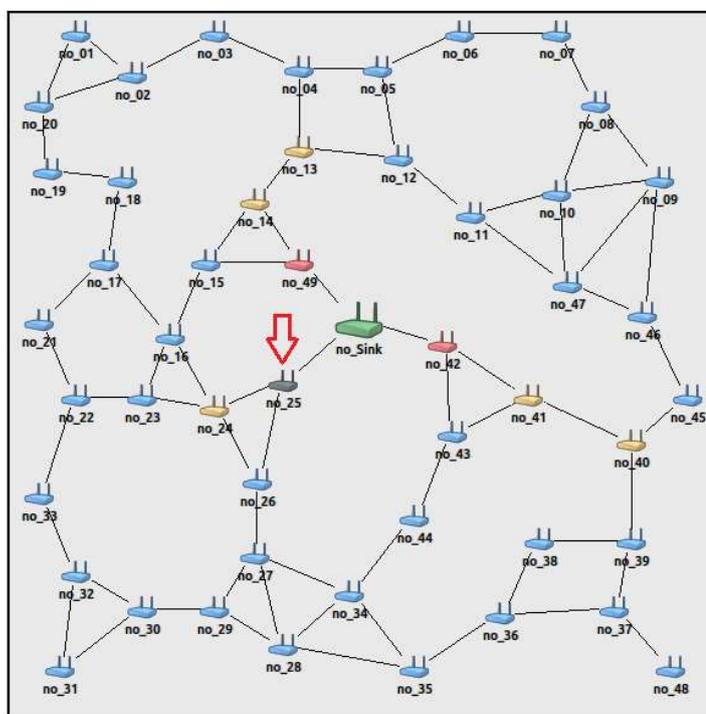
Observa-se, neste caso, que após 5.000 segundos de simulação ocorreram atrasos significativos na entrega de pacotes para o nó *sink*. A partir deste momento, o critério de controle energético procura melhor balancear o gasto energético na rede com o objetivo de mantê-la plenamente operando por um período maior. É evidenciado que a procura por caminhos de entrega de pacotes de dados com maior capacidade energética confronta com o critério de busca por caminhos que requeiram menores atrasos. Entretanto, após o período de instabilidade de procura por melhores caminhos, os atrasos voltam a valores menores e estáveis.

A Figura 34 ilustra a evolução da média geral dos valores de atrasos dos pacotes até o nó *sink*. O atraso médio geral de pacotes de dados para o nó *sink* ficou em 15,55 s após 600 s de simulação.



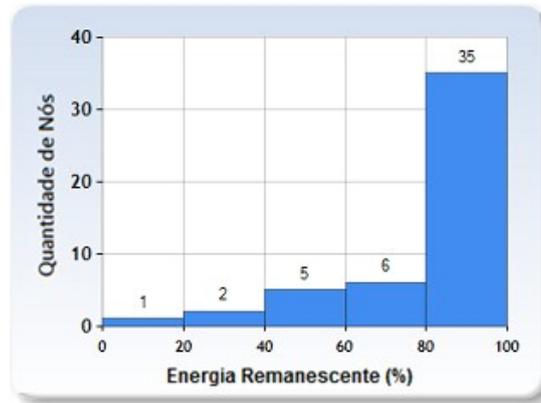
**Figura 34. Média geral de atraso de cada pacote da origem até o *sink* para o encaminhamento por menor atraso e consumo de energia**

Na segunda topologia analisada, utilizando o algoritmo de encaminhamento baseado em menor atraso e consumo de energia, a rede se manteve energeticamente intacta até 8.131 segundos de simulação. Neste momento, como mostra a Figura 35, ocorre o esgotamento de toda energia disponível do nó 25 em cor cinza.



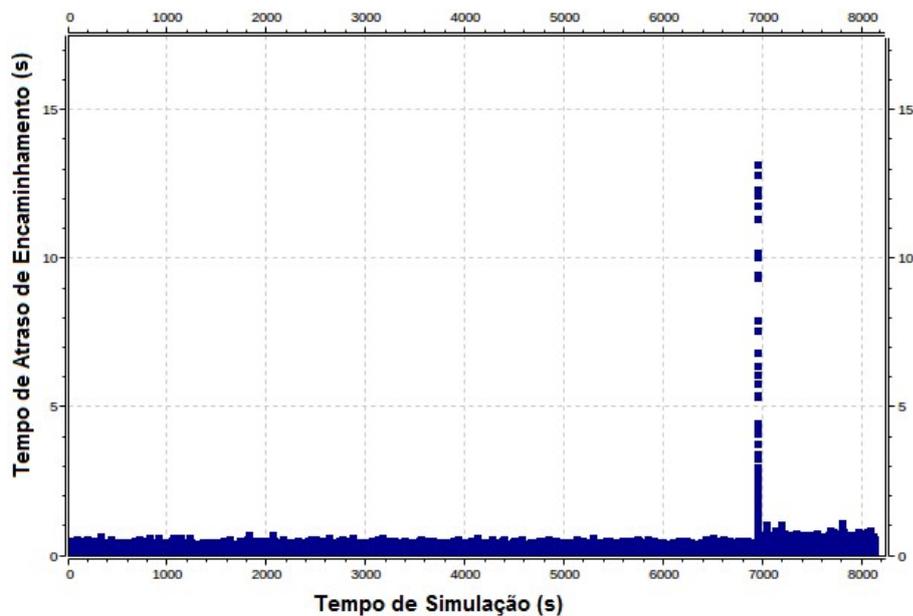
**Figura 35. Esgotamento energético do nó 25 após 8.131 segundos de simulação para o encaminhamento por menor atraso e consumo de energia**

Para uma visão mais detalhada da distribuição de consumo energético a Figura 36 ilustra o histograma da condição de carga energética dos nós de rede ao final da simulação. Nota-se que 71% do total de nós finalizaram a simulação com uma carga energética remanescente de acima dos 80%, caracterizando uma melhoria em relação aos critérios anteriores no tocante ao potencial energético subutilizado na rede.



**Figura 36. Histograma de distribuição de consumo energético para o encaminhamento por menor atraso e consumo de energia**

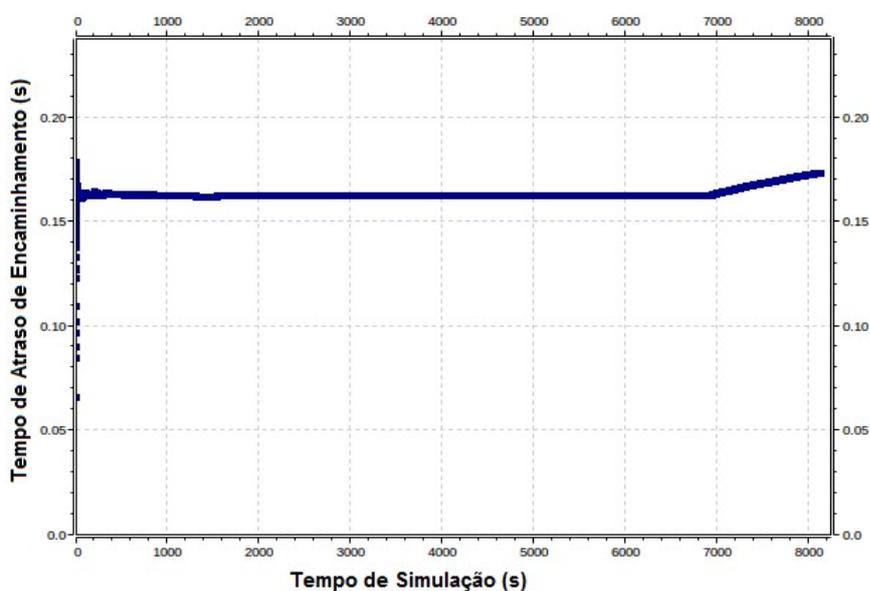
A Figura 37, a seguir, apresenta os resultados de atrasos para o caso de encaminhamento por menor atraso e consumo de energia.



**Figura 37. Tempo total de atraso de cada pacote da origem até o sink para o encaminhamento por menor atraso e consumo de energia**

Observa-se que próximos dos 7.000 segundos de simulação ocorreram atrasos significativos na entrega de pacotes para o nó *sink*. A partir deste momento, na tentativa de melhor balancear o gasto energético na rede, ocorrem atrasos maiores durante alguns instantes. Porém, em relação à topologia anterior, houve um melhor comportamento nos atrasos para a entrega de pacotes.

A Figura 38 ilustra a evolução da média geral dos valores de atrasos dos pacotes até o nó *sink*. O atraso médio geral de pacotes de dados para o nó *sink* ficou em 173 ms após 600 s de simulação.



**Figura 38. Média geral de atraso de cada pacote da origem até o *sink* para o encaminhamento por menor atraso e consumo de energia**

Neste caso, a ocorrência de respostas mais rápidas na procura por caminhos de menores atrasos para a entrega de pacotes é, em parte, favorecida pelo fato da topologia em questão oferecer melhores opções para encaminhamento de pacotes em relação com a topologia anterior.

## 5.4. Conclusão

Neste capítulo destacou, inicialmente, que a técnica de encaminhamento por menor atraso pode melhor distribuir o consumo energético nos nós de uma rede. Em particular, quando esta rede apresenta características não muito simétricas, em que não há muitos caminhos alternativos para um destino, e com algum problema de gargalo para o tráfego de pacotes. Em decorrência da melhor distribuição de consumo de energia, as redes analisadas puderam ser mantidas em operação por períodos maiores de tempo.

Ao se utilizar a técnica de encaminhamento de pacotes por menor atraso em combinação com o critério de consumo de energia, foram observados aumentos de autonomia energética na operação das redes analisadas em comparação com o uso da técnica de encaminhamento de pacotes por menor atraso abordado no capítulo anterior.

Foi observado, entretanto, que o emprego da técnica combinada de menor atraso com critério de consumo energético tende a propiciar aumentos dos valores de atrasos na entrega de pacotes de dados, especialmente quando os níveis de energia remanescente alcançam níveis mais críticos. Este fato fornece evidências de que o critério de controle energético com a finalidade de melhor balancear o gasto energético na rede, confronta, de certo modo, com o critério de busca por caminhos de menores atrasos. Entretanto, após um período de instabilidades na procura por melhores caminhos, os atrasos observados tendem a retornar para valores menores razoavelmente estáveis.

## Capítulo 6. Conclusões e Trabalhos Futuros

Foram propostas duas técnicas de encaminhamento de pacotes baseadas em caminhos de menores atrasos para redes de aplicações médicas. Na primeira técnica, foi utilizada a quantidade de pacotes armazenados em buffer de cada nó como peso para calcular, através do algoritmo de Dijkstra, o caminho de menor atraso dentro da rede. Dois modos diferentes de atribuições de peso foram estudados nesta primeira técnica. No primeiro modo, foi feita uma atribuição fixa de peso, isto é, utilizou-se o conceito de gatilho, no qual quando a quantidade de pacotes no buffer fica acima do valor do gatilho, a tabela de roteamento é atualizada, e novos caminhos de menores atrasos são calculados. No outro modo de atribuição de peso, foi utilizado o mesmo conceito de gatilho, mas os valores de pesos, neste caso, variam de acordo com a ocupação do buffer. Na segunda técnica proposta, para o cálculo de caminho de menor atraso, levou-se em conta, também, o consumo de energia de cada nó. Neste caso, além da atribuição do peso de acordo com a ocupação do buffer, uma outra atribuição de acordo com o nível de energia disponível em cada nó foi acrescentada ao peso.

As duas técnicas de encaminhamento propostas foram estudadas através de simulações, utilizando o pacote de software OMNeT++, e os seus desempenhos foram comparados com a técnica de encaminhamento de caminho mais curto ou menor número de pulos, que é adotada na maioria das redes atuais.

Os resultados das simulações mostraram que a primeira técnica, para uma rede que possui certa assimetria, com pontos de gargalo, em que pacotes podem ter atrasos consideráveis, teve um desempenho bem melhor, quando comparado com a técnica de encaminhamento por caminho mais curto. Entretanto, quando a técnica foi utilizada para uma rede mais simétrica, em que existem vários caminhos alternativos para um destino, o desempenho se mostrou equivalente para os dois tipos de encaminhamentos comparados.

Observou-se que a técnica de encaminhamento por menor atraso pode distribuir melhor o consumo energético nos nós de uma rede, em particular, quando esta rede apresenta características não muito simétricas, em que não há muitos caminhos alternativos para um destino, e com algum problema de gargalo para o tráfego de pacotes.

Ao se utilizar a segunda técnica de encaminhamento de pacotes, verificou-se um aumento maior de autonomia de operação das redes analisadas, quando comparada com a primeira técnica. Foi observado, entretanto, que, com a utilização da técnica combinada de menor atraso com consumo de energia, ocorreram aumentos dos valores de atraso na entrega de pacotes de dados, sobretudo quando os níveis de energia disponível dos nós das redes analisadas estiveram em níveis críticos.

## **6.1. Trabalhos Futuros**

Como forma de continuação dessa dissertação, elenca-se aqui, algumas ideias para trabalhos futuros.

- Utilização de uma outra métrica para estimar os atrasos dos pacotes em cada nó da rede. Essa métrica se baseia nas medições da taxa de entrada e nos comprimentos de pacotes e na utilização da fórmula de fila do tipo M/M/1 para fazer a estimativa de atraso;

- Aplicar as técnicas desenvolvidas neste trabalho em outros cenários topológicos de rede;

- Implementação completa de simulações de caráter realístico dos protocolos comumente já utilizados em redes sem fio, porém acrescidos das técnicas contempladas nesta dissertação. Os resultados seriam analisados e comparados entre as técnicas originais e derivadas.

## Referências

- Chen, T.-W., Gerla, M., 1998. Global State Routing: A New Routing Scheme for Ad-hoc Wireless Networks. *Proc. IEEE ICC'98*, 5 pages.
- Chiang, C.-C. 1997. Routing in Clustered Multihop Mobile Wireless Networks with Fading Channel, *Proc. IEEE SINCON'97*, Apr. 1997, pp. 197-211.
- Cordeiro, C. M. and Agrawal, D. P. 2011. *Ad Hoc and Sensors Networks – Theory and Applications*. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., pp. 18-41.
- Heinzelman, W. R., Chandrakasan, A. and Balakrishnan, H. 2000. *Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks*. Proceedings of Hawaii International Conference on System Sciences. January 2000, Maui, Hawaii.
- Iwata, A., Chiang, C.-C., Pei, G., Gerla, M., and Chen, T.-W., 1999. Scalable Routing Strategies for Ad Hoc Wireless Networks. *IEEE Journal on Selected Areas in Selected Areas in Communications, Special Issue on Ad-Hoc Networks.*, pp. 1369-79.
- Joa-Ng, M. and Lu, I.-T., 1999. A Peer-to-Peer zone-based two-level link state routing for mobile Ad Hoc Networks. *IEEE Journal on Selected Areas in Selected Areas in Communications, Special Issue on Ad-Hoc Networks.*, pp. 1415-25.
- Kaage, U., Kahmann V., Jondral F. 2001. An OMNeT++ TCP model. *ESM'2001 Proceedings of the European Simulation Multiconference*.
- Lai, J., Wu E., Varga A., Sekercioglu, Y., Egan, G., 2002. A Simulation Suite for Accurate Modeling of IPv6 Protocols. *2<sup>nd</sup> International OMNeT++ Workshop*, January 2002, Berlin, Germany.
- Misra, P. 1999. Routing Protocols for Ad Hoc Mobile Wireless Networks. *Computer Science Department*, The Ohio State University.
- Murphy, S. and Garcia-Luna-Aceves J.J. 1996. An Efficient Routing Protocol for Wireless Networks. *ACM Mobile Networks and App. J., Special Issue on Routing Mobile Communication Networks*, Oct. 1996, pp. 183 – 197.
- Perkins, C.E. and Bhagwat, P., 1994. Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers. *Comp. Comm. Rev.*, pp. 234-244.

- Plovas, R. and Motoyama, S. 2015. Uma Técnica de Encaminhamento de Pacotes Baseada em Menor Atraso Através das Medições da Taxa e de Comprimento de Pacotes para a Rede de Aplicação Médica. *XI Workshop de Computação da FACCAMP, XI WCF 2015*, Campo Limpo Paulista, Brasil.
- Sajid, M., Khan, K., Qasim, U., Khan, Z. A., Tariq, S. and Javaid, N. 2015. A New Linear Cluster Handling Technique Toward's Energy Efficiency in Linear WSNs. *29<sup>th</sup> International Conference on Advanced Information Networking and Applications*, pp. 389 – 393.
- Schurgers, C. and Srivastava, M. 2001. Energy efficient routing in wireless sensor network. *MILCOM Proceedings on Communications for Network-Centric Operations: Creating the Information Force*, McLean, VAC.
- Serafim, E. and Motoyama, S. 2014. A Network Structure for Medical Assistance in Rural and Urban Areas Using IoT Technology. *International Conference on Wireless Networks, ICWN2014*, Las Vegas, pp. 42-46.
- Shinde, Y. and Sonavane, S. 2015. An Energy Efficient Critical Event Monitoring Routing Method for Wireless Sensor Networks. *International Journal of Computer Applications*. Vol. 114 – No. 10, pp. 24-31.
- Sinha, J. and Barman, S. 2012. Energy efficient routing in wireless sensor network. *1<sup>st</sup> int'l Conf. on Recent Advances in Information Technology*.
- Suhonen, J., Hämäläinen, T. and Hännikäinen, M., 2009. Availability and End-to-end Reliability in Low Duty Cycle Multihop Wireless Sensor Networks. *Department of Computer Systems*, Tampere University of Technology, March 2009, Tampere, Finland.
- The Eclipse Foundation. Eclipse Integrated Design Environment [WWW]. Acessado em 01.05.2016. <https://www.eclipse.org/>.
- Uckelmann, D., Harrison, M., Michahelles, F. 2011. Architecting the Internet of Things. XXXI, 351 p. 77 illus., Hardcover. ISBN: 978-3-642-19156-5
- Varga, A. 2001. The OMNeT++ discrete event simulation system. *ESM'2001 Proceedings of the European Simulation Multiconference*.

- Varga, A. 1997. OMNeT++ User Manual. Department of Telecommunications, Technical University of Budapest, 1997. URL reference: <ftp://ftp.hit.bme.hu/sys/anonftp/omnetpp/doc/usman.pdf>
- Varga, A. and Fakhamzadeh B., 1997. The K-Split algorithm for the PDF approximation of multi-dimensional empirical distributions without storing observations. *ESS'97 Proceedings of the 9<sup>th</sup> European Simulation Symposium*, pp. 94–98, Passau, Germany, October 1997. The Society for Modeling and Simulation International (SCS)
- Varga, A. and Hornig, R. 2008. An Overview of the OMNeT++ Simulation Environment. *Proceedings of the 1<sup>st</sup> International Conference on Simulation Tools and Techniques for Communications, Networks, and Systems & workshops*, March 2008, Marseille, France.
- Villas, L., Boukerche, A., Ramos, H., Oliveira, H., Araujo, R. and Loureiro, A. 2013. DRINA: A Lightweight and Reliable Routing Approach for in-Network Aggregation in Wireless Sensor Networks. *IEEE Transactions On Computers*. Vol. 62, no. 4, pp 676-689.
- Wang, S.-S. and Chen, Z.-P., 2013. LCM: A Link-Aware Clustering Mechanism for Energy-Efficient Routing in Wireless Sensor Networks. *IEEE Sensors Journal*. Vol. 13, no. 2, pp 728-736.
- Wehrle, K., Reber, J., Kahmann, V., 2001. A simulation suite for internet nodes with the ability to integrate arbitrary quality of service behavior. *CNDS'2001 Proceedings of the Communication Networks and Distributed Systems Modeling and Simulation Conference*, January 2001, Phoenix, Arizona, USA.
- Yang, D., Liu, F., Liang, Y. 2010. A Survey of the Internet of Things. *International Conference on E-Business Intelligence (ICEBI-2010)*, Advances in Intelligent Systems Research. Atlantis Press, pp. 358 – 366.

## Anexo I. Publicações da Dissertação

### 1. Artigo apresentado no XI Workshop de Computação da FACCAMP

O Workshop de Computação da FACCAMP (WCF) é um evento de abrangência nacional promovido pela Faculdade Campo Limpo Paulista.

#### 1.1. Comprovante de aceitação do artigo

O e-mail, a seguir, referente à aceitação do artigo “Uma Técnica de Encaminhamento de Pacotes Baseada em Menor Atraso Através das Medições da Taxa e de Comprimento de Pacotes para a Rede de Aplicação Médica” para o WCF XI.

Ronaldo Plovas <plovas@gmail.com>

---

### XI WCF 2015. Decisão sobre o artigo 11

---

XI WCF 2015 <wcf15@easychair.org>

Tue, Aug 25, 2015 at 4:11 PM

To: Ronaldo Plovas <plovas@gmail.com>

Prezado(a) Ronaldo Plovas

Comunicamos que seu artigo Uma Técnica de Encaminhamento de Pacotes Baseada em Menor Atraso Através das Medições da Taxa e de Comprimento de Pacotes para a Rede de Aplicação Médica submetido ao XI Workshop de Computação da FACCAMP foi **ACEITO**.

Algumas informações importantes:

- 1- Lembramos que o prazo de submissão da versão final é o dia 5 de setembro de 2015.
- 2.- Por favor, considere as sugestões dos revisores. Os comentários foram incluídos no final deste e-mail.



**Faculdade Campo Limpo Paulista**

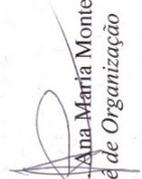
**FACCAMP**  
Faculdade Campo Limpo Paulista

*Certificado*

Certificamos que **Ronaldo Plovas** apresentou o trabalho "*Uma Técnica de Encaminhamento de Pacotes Baseada em Menor Atraso Através das Medições da Taxa e de Comprimento de Pacotes para a Rede de Aplicação Médica*" no XI *Workshop* de Computação na FACCAMP, WCF'2015.

Campo Limpo Paulista, 24 de setembro de 2015.

  
Prof. Dr. Luis Mariano Del Val Cura  
Comitê de Organização

  
Profa. Dra. Ana Maria Monteiro  
Comitê de Organização

Rua Guatemala, 167 - Jd. América - Campo Limpo Paulista - São Paulo - CEP: 13231-230 | 11 4812-9400 [www.faccamp.br](http://www.faccamp.br)

3. A versão final do artigo deve adequar-se ao padrão de trabalhos do WCF, em quantidade de páginas e formato, definidos na chamada de trabalhos em

<http://www.cc.faccamp.br/workshop.php?ano=2015>

Atenciosamente,  
Comitê de Organização.

## 1.2. Artigo submetido

A seguir, o artigo submetido ao workshop é apresentado. O artigo tem o título “Uma Técnica de Encaminhamento de Pacotes Baseada em Menor Atraso Através das Medições da Taxa e de Comprimento de Pacotes para a Rede de Aplicação Médica”.

Este artigo, no formato de um *short paper*, apresenta de modo sucinto a proposta de trabalho referente aos estudos sobre a técnica de encaminhamento baseado em caminhos de menor atraso em redes de aplicação médica.

### **Uma Técnica de Encaminhamento de Pacotes Baseada em Menor Atraso Através das Medições da Taxa e de Comprimento de Pacotes para a Rede de Aplicação Médica**

**Ronaldo Plovas, Shusaburo Motoyama**

Programa de Mestrado em Ciência da Computação  
Faculdade Campo Limpo Paulista (FACCAMP) - Campo Limpo Paulista - SP – Brazil  
ronaldoplovas@hotmail.com, shumotoyama@gmail.com

**Resumo.** *As redes de aplicações médicas podem ser constituídas de WBANs (Wireless Body Area Network) nas extremidades e um conjunto de nós intermediários denominados de RFIDs (Radio Frequency Identification), compondo uma rede IoT (Internet of Things), e que são utilizados para a leitura e transporte de dados médicos dos pacientes. Os dados médicos dos pacientes podem ser lidos localmente das WBANs ou são transportados, através da Internet, até um centro médico ou hospital mais perto. Em geral, os dados médicos necessitam de um tratamento em tempo real, portanto, devem ser encaminhados de modo mais rápido possível dentro de uma rede. Os objetivos deste trabalho são propor e estudar o desempenho de uma técnica de encaminhamento baseada em caminho de menor atraso através das medições de taxa e comprimento de pacotes para as redes de aplicações médicas.*

**Abstract.** *The medical application networks can be constituted of WBANs (Wireless Body Area Network) at the edges and a set of intermediate nodes denoted RFIDs (Radio Frequency Identification), composing an IoT (Internet of Things) network, and are used for reading and transportation of medical data of patients. The medical data of patients can be locally read from WBANs or are transported, through Internet, up to the nearer medical center or hospital. In general, the medical data need a real time treatment so that must be routed as quickly as possible in a network. The objectives of this work are to propose and study the performance of a routing technique based on a least delay path through the measurements of rate and length of packets for medical application networks.*

## 1. Introdução

Os avanços tecnológicos observados recentemente em várias áreas estão possibilitando a evolução de redes sem fio em vários campos de aplicação. Os principais campos de aplicação beneficiados são na agricultura, no controle de tráfego urbano, na área de saúde, na automação industrial, etc. Em todas essas áreas, os principais componentes que serão utilizados são os sensores sem fio. Os sensores sem fio têm várias funções, desde a medição de diferentes parâmetros de aplicação em diferentes campos, a recepção e o processamento de dados, até a transmissão de dados. Esses sensores sem fio adicionados de toda a funcionalidade são denominados, genericamente, de nós sensores, e uma rede interconectada desses nós sensores é chamada de rede de sensores sem fio.

Na área de saúde, uma das aplicações dessa rede é no monitoramento de sinais vitais de um paciente. Essa rede denominada de rede corporal de sensores sem fio, WBAN (*Wireless Body Area Network*), tem as funções de obter os sinais vitais de um paciente e apresentá-los à equipe médica de um hospital ou transmiti-los, através da Internet, ao seu médico particular.

Para a interconexão de várias WBANs instaladas em comunidades urbanas ou rurais, poderá ser utilizada uma outra tecnologia que está em desenvolvimento, a Internet das Coisas ou IoT (*Internet of Things*), conforme Yang, Liu e Liang (2010). A principal concepção da IoT é atribuir inteligência a todos os objetos (coisas), e esses objetos se comunicarão entre si, e também com as pessoas, formando uma rede de objetos. Um dos principais componentes da IoT é o leitor RFID (*Radio Frequency Identification*) que possibilita a leitura sem fio de dados armazenados em um objeto. Os dados dos pacientes das WBANs espalhadas em residências de uma comunidade (urbana ou rural) poderiam ser lidos através dos leitores RFIDs que formariam uma rede de RFIDs. Nessa rede, os leitores RFIDs trabalhariam cooperativamente para transmitir os dados até um hospital ou centro de saúde, como é visto em Serafim e Motoyama (2014). Um dos problemas encontrados em uma rede de RFIDs para WBANs é o encaminhamento de pacotes dentro dessa rede para que haja um percurso mais rápido até atingir o nó que tenha acesso ao centro médico ou hospital.

O objetivo deste trabalho é propor uma técnica de encaminhamento para redes de aplicação médica em que os pacotes deverão ser encaminhados o mais rápido possível, ou seja, um caminho que terá um menor atraso dentro da rede. O estudo será realizado através da simulação computacional na intenção de se verificar a real eficácia da técnica proposta em comparação com demais soluções apresentadas na literatura.

Este artigo está organizado em três seções. Na seção 2, a seguir, são discutidas as principais técnicas de encaminhamento que poderão ser utilizadas nas redes de aplicação médica. Uma técnica de encaminhamento baseada em caminho de menor atraso é detalhada na seção 3.

## 2. Técnicas de Encaminhamento

Nesta seção, serão descritos alguns tipos de encaminhamento em redes sem fio que poderão ser apropriados para redes de aplicação médica.

Uma técnica de encaminhamento denominada de WRP (*Wireless Routing Protocol*) é apresentada em Misra (1999). Trata-se de um protocolo de vetor-distância baseado em um conjunto de tabelas em cada nó. São utilizadas quatro tabelas: de distância, de encaminhamento, de custo e de atualização.

A tabela de distância de um nó  $x$  contém a distância de cada nó destino  $y$  através de cada nó vizinho  $z$  de  $x$ . A informação do próximo nó da rota, vizinho de  $z$ , é, também, contemplada na tabela. A tabela de encaminhamento do nó  $x$  contém a distância de cada nó destino  $y$  vindo do nó  $x$ , o predecessor e o sucessor do nó  $x$  desta rota. A armazenagem do predecessor e do sucessor na tabela é útil no caso de detectar laços e evitar problemas de contagem ao infinito. A tabela de custo de *link* contém o custo do *link* de cada vizinho do nó e a quantidade de erros por tempo excedido até que uma mensagem livre de erros tenha sido recebida por aquele nó. Para atualização das tabelas, cada nó mantém uma lista de retransmissão de mensagens (MRL-*Message Retransmission List*) que contém as informações dos nós vizinhos que ainda requerem

mensagens de atualização. Os nós compartilham os dados de suas tabelas de encaminhamento com os nós vizinhos, periodicamente, através de mensagens de atualização, e, também, quando há alterações no *link*. No recebimento de uma mensagem de atualização, o nó faz as devidas modificações em sua tabela de distâncias e verifica os melhores caminhos ao se basear nas novas informações. Qualquer novo caminho encontrado é enviado para os nós de origem com o objetivo de atualizar suas tabelas. E no caso de ser encontrado um caminho melhor do que o existente na tabela de encaminhamento, será, também atualizado. No recebimento dos pacotes de confirmação, o nó faz a atualização de sua lista de retransmissão de mensagens (MRL).

Na técnica de encaminhamento denominada de CGSR (*Clusterhead Gateway Switch Routing*), apresentada em Misra (1999), os nós móveis são agregados em *clusters*, e um nó *cluster-head* é eleito. Todos os nós que estejam ao alcance deste *cluster-head* pertencerá ao seu *cluster*. Um nó do tipo *gateway* que estiver ao alcance de comunicação de dois ou mais *cluster-heads*, propiciará a comunicação entre os *clusters*. Em um cenário dinâmico, para não perder desempenho, devido as constantes eleições do *cluster-head*, é utilizado o algoritmo LCC (*Least Cluster Change*). Neste algoritmo a mudança do *cluster-head* ocorre somente quando os dois *cluster-heads* estejam fazendo parte de um mesmo *cluster* ou quando um dos nós da rede fica fora de alcance de qualquer *cluster-head*. Neste protocolo, o nó de origem deverá transmitir seus pacotes de dados para o seu *cluster-head*. A partir deste *cluster-head*, os pacotes em trânsito serão enviados para o nó *gateway*, de onde será enviado para o próximo *cluster*. O processo continua até alcançar o *cluster-head* de destino. Por fim, o *cluster-head* de destino transmitirá o pacote de dados para o nó de destino.

Um tipo de encaminhamento baseado em um modelo hierárquico, denominado de HDP (*Height Distance and Power consumption algorithm*), é apresentado em Sinha and Barman (2012). Neste modelo, os sensores da rede são agrupados em *clusters*, e em cada *cluster* os dados de comunicação são agregados para reduzir o número de transmissões para a estação base, conseqüentemente reduzindo o consumo de energia. Este algoritmo de encaminhamento é baseado em interações. Cada interação é compreendida pelas fases de configuração e transmissão. Na fase de configuração, os nós principais são escolhidos, e na fase de transmissão, os nós escolhidos farão a agregação dos dados a serem transmitidos para a estação base. É, também, realizada uma análise do consumo elétrico para cada nó e para a rede como um todo com a finalidade de prolongar o tempo de vida útil da rede de sensores. Para o encaminhamento de pacote do nó fonte ao nó destino é utilizado o critério de caminho mais curto. Em seguida, é feita a atualização, adicionando e eliminando os nós de sensores.

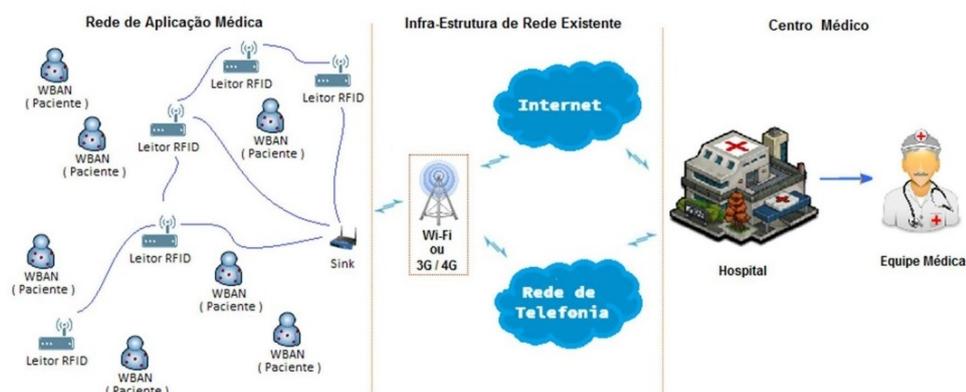
A técnica de encaminhamento denominada de GBR (*Gradient Based Routing*) apresentada em Schurgers e Srivastava (2001) é baseada na técnica de gradiente, utilizada, também, em outros protocolos de encaminhamento *ad hoc*. Nessa abordagem, utiliza-se um índice de gradiente que é baseado na qualidade de um nó possuir uma quantidade mínima de saltos até o nó *sink*. O quantitativo de gradiente, neste contexto, é calculado pela diferença de pesos de um nó com o seu vizinho. Os pacotes de dados são preferencialmente encaminhados nos *links* de maior gradiente. Com o intuito de aumentar a eficiência da rede, técnicas auxiliares também são destacadas para este modelo de encaminhamento, tal como a agregação de dados e técnicas complementares de difusão de pacotes. Para a agregação de dados, os nós mais próximos ao ponto de

comunicação são propensos a se tornarem Entidades de Combinação de Dados (DCE – *Data Combining Entity*) que permitem a compactação de dados. Nas técnicas de difusão de pacotes são utilizadas a seleção aleatória de pulos no caso de empate (*stochastic scheme*), a de estimativa de energia (*energy-based scheme*) e a de fluxos de dados (*stream-based scheme*). Estas técnicas colaboram para alcançar uma distribuição mais uniforme de tráfego por toda a rede, equilibrando as cargas dos nós de rede, e aumentando o tempo de vida da rede.

### 3. Proposta de Trabalho

As técnicas de encaminhamento discutidas na seção 2, principalmente para redes sem fio *ad hoc*, são baseadas no fato de que os nós dessas redes podem estar em constante movimento ou em situações que estes nós, simplesmente, saem da circulação por motivos de falha ou por falta de energia. Assim, as técnicas de encaminhamento devem ser bastante robustas e privilegiar vários caminhos alternativos. No caso das redes de aplicações médicas, existem outras características que devem ser levadas em conta para propor técnicas de encaminhamento.

A Figura 1 mostra a configuração geral de uma rede de aplicação médica.



**Figura 1. Configuração geral de uma Rede de Aplicação Médica.**

Pode-se observar que na Figura 1 a rede está dividida em três partes: uma parte correspondente a rede de aplicação médica propriamente dita, uma outra parte de infraestrutura de rede existente e, por fim, a parte do centro médico onde os dados serão processados. Na parte de rede de aplicação médica, ocorre, inicialmente, a monitoração dos pacientes por meio das WBANs, instaladas em cada paciente, que coletam os dados indicadores de saúde. Os dados dos pacientes são coletados das WBANs através de leitores RFIDs (*Radio Frequency Identification*) que atuam cooperativamente para transferir os dados até o nó *sink*, e, através da infraestrutura existente, são encaminhados ao centro médico. Na parte denominada de Infraestrutura de Rede Existente estão disponibilizadas as possíveis tecnologias existentes para fins de envio dos dados coletados. E, por fim, na parte denominada como Centro Médico estão disponíveis os meios necessários para o acompanhamento remoto das condições de saúde dos pacientes monitorados.

O objetivo deste trabalho é estudar o problema de encaminhamento de pacotes (dados dos pacientes) na parte de rede de aplicação médica.

Para o caso das redes de aplicações médicas, os leitores RFIDs não terão muita mobilidade, serão ocasionalmente recolocados em diferentes lugares para uma melhor leitura de dados da WBAN. Além disso, os leitores devem se cooperar para que os pacotes alcancem um nó final (*sink*) de pouca mobilidade que possibilitará acesso ao centro médico ou hospital. Entretanto, as redes de aplicação médica necessitam que os dados sejam transmitidos com bastante rapidez, quase em tempo real, e com bastante segurança e confiabilidade.

A técnica de encaminhamento de pacotes proposta neste trabalho para redes de aplicação médica utilizará, como critério de escolha de percurso, o caminho de menor atraso em toda rede. Para estimar o atraso do pacote em cada nó, serão feitas as medições da taxa de entrada e de comprimento de pacotes em cada nó, e será utilizada uma fila simples do tipo M/M/1 para calcular a estimativa de atraso. As medições serão feitas periodicamente, em intervalos pequenos, e cada nó atualizará a sua tabela de atrasos e transmitirá aos nós vizinhos. Após várias iterações, cada nó terá uma tabela contendo os atrasos dos nós vizinhos. Cada nó utilizará a tabela atualizada para encaminhar cada pacote, escolhendo o caminho de menor atraso.

Para a verificação da eficácia do esquema proposto, a técnica de encaminhamento proposta será implementada em exemplos de redes de certa complexidade. Serão feitas, também, comparações com outros tipos de encaminhamento descritos na literatura. O pacote de software de simulação de eventos discretos OMNeT++ abordado em Varga e Hornig (2008) será utilizado para auxiliar na validação e nas comparações da técnica de encaminhamento proposta com as demais técnicas em estudo nesta área.

## Referências

- Yang, D., Liu, F., Liang, Y. (2010) “A Survey of the Internet of Things.” *International Conference on E-Business Intelligence (ICEBI-2010)*, Advances in Intelligent Systems Research. Atlantis Press, p. 358 – 366.
- Serafim, E. and Motoyama, S.(2014) “A Network Structure for Medical Assistance in Rural and Urban Areas Using IoT Technology” *International Conference on Wireless Networks*, ICWN2014, Las Vegas, p. 42-46.
- Misra, P. (1999) “Routing Protocols for Ad Hoc Mobile Wireless Networks.” *Computer Science Department*, The Ohio State University.
- Cordeiro, C. M and Agrawal, D. P. (2011) “*Ad Hoc and Sensors Networks – Theory and Applications*”, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., p. 18-41.
- Varga, A. and Hornig, R. (2008) “An Overview of the OMNeT++ Simulation Environment”. *Proceedings of the 1<sup>st</sup> International Conference on Simulation Tools and Techniques for Communications, Networks, and Systems & workshops*, March 2008, Marseille, France.
- Schurgers, C. and Srivastava, M.(2001) “Energy efficient routing in wireless sensor network” *MILCOM Proceedings on Communications for Network-Centric Operations: Creating the Information Force*, McLean, VAC.
- Sinha, J. and Barman, S.(2012) “Energy efficient routing in wireless sensor network” *1<sup>st</sup> int’l Conf. on Recent Advances in Information Technology*.

## 2. Artigo aceito pela ICWN'16

ICWN - *The 2016 International Conference on Wireless Networks* – a ser realizada em *Las Vegas* – EUA. É avaliada como B2 no WebQualis 2012 da CAPES.

### 2.1. Comprovante de aceitação do artigo

O texto a seguir refere-se ao e-mail recebido comunicando a aceitação do artigo submetido nesta conferência. Constam neste e-mail dados como: título do congresso, título do artigo, autores, bem como as notas que foram atribuídas ao artigo.

From: **Steering Committee** (council.sci.edu@gmail.com)  
Sent: Saturday, May 14, 2016 10:26:07 PM  
To: shumotoyama@gmail.com; ronaldplovas@hotmail.com

Dear Drs. Plovas and Motoyama:

I am pleased to inform you that the following paper which you submitted to:

o The 15th International Conference on Wireless Networks  
(ICWN'16: July 25-28, 2016, Las Vegas, USA)  
<http://worldcomp.org/events/2016/conferences/icwn2016>

has been accepted as a Regular Research Paper (RRP) - i.e., accepted for both, publication in the proceedings (7-page IEEE style pages) and oral presentation (20-minute formal presentation.)

Paper ID #: ICW3201  
Title: A Routing Technique Based on Least Delay Path for Medical Application Networks  
R. Plovas, S. Motoyama  
Faculdade Campo Limpo Paulista (FACCAMP), Campo Limpo Paulista, SP, Brazil

Note: The "paper ID #" shown above is composed of three letters (conference prefix) followed by four numeral/digits. You will need to have this "Paper ID #" at the time of registration and final paper submission (for publication).

(The evaluation of this paper is arranged by Track Chair # 149)

General comments to authors of accepted papers:

1. Each paper was peer-reviewed by two experts in the field for originality, significance, clarity, impact, and soundness. In cases of contradictory recommendations, a member of the conference program committee was charged to make the final decision (accept/reject);

often, this involved seeking help from additional referees by using a double-blinded review process. In addition, all papers whose authors included a member of the conference program committee were evaluated using the double-blinded review process.

2. Authors of accepted papers are strongly encouraged to enhance the organization and the quality of the English writeup of their papers before uploading them to the publication web site for the preparation of the printed books/proceedings.

3. Authors whose papers have been accepted SUBJECT to MANDATORY changes have ALREADY received the compiled referees' report (directly from their session co-chairs). According to the evaluation system, your paper is accepted WITHOUT mandatory changes. However, some comments and/or implied friendly suggestions from the referees are provided together with compiled evaluation points; they appear below.

COMPILED REFEREES' evaluation points (2 referees):

Originality (1 Poor - 20 Very Good): 17

Technical Quality (1 Poor - 20 Very Good): 17

Significance of Contribution (1 Poor - 20 Very Good): 16

Readability and Organization (1 Poor - 20 Very Good): 15

Relevance (1 Not relevant - 20 Very relevant): 20

Overall Recommendation (1 Reject - 20 Strong Accept): 17

Degree of Expertise of Reviewer in the topic (1 Poor - 20 Good): 16

The authors of all accepted papers will be given the opportunity to also submit (if they wish) an EXTENDED version of their papers to one of the books to be published by Elsevier and/or Springer, or to journal issues for publication consideration. Refer to the list that appears in the link below for some recent examples of such books/journals:

<http://worldcomp.org/events/2016/worldcomp-books-journal-special-issues>

Soon after the publication of the conference proceedings, the Contact Author of this paper will receive announcements about the possibility of the publication of the EXTENDED version of the paper. Like prior years, such announcements will be sent out during the month of December.

For information regarding author instructions including:

- Presentation Formats / Accepted Paper Categories
- Typing Instructions
- Extended Deadline (Registration and Camera-ready Papers due: June 2, 2016)
- Conference Registration
- Hotel Reservation
- Conference Program/Schedule

Please visit:

[http://worldcomp.org/authors/index\\_html](http://worldcomp.org/authors/index_html)

For Submission (uploading) of Final Camera-Ready Papers for Publication in the Conference Proceedings/book, please visit:

<http://worldcomp.ucmss.com/cr/main/papersNew/worldcomp16>

To Request Invitation Letters for US Visa Purposes, please visit:

[http://worldcomp.ucmss.com/cr/main/invitations/worldcomp\\_index\\_html](http://worldcomp.ucmss.com/cr/main/invitations/worldcomp_index_html)

Congratulations, and thank you for your contribution to the Conference.  
We look forward to seeing you at the conference in July.

Kind regards,  
Steering Committee, ICWN'16

ps.

-> As of the date of this notification, the Conference paper acceptance rate has been between 25% and 28% - this may change later when we receive

more data from individual track chairs.

-> See the appended text for useful information about the conference.

-> If at least one author of an accepted paper registers for the conference but for some reason he/she is unable to attend the conference, then his/her paper would be published and arrangements would be made to ship the proceedings to the registered author after the conference. However, the registered author MUST inform us by no later than June 1, 2016 that he/she will not be able to attend. This would help us to manage the logistics of preparing the conference schedule.

-> Based on science citation record and other relevant metrics, Microsoft Academic has listed this annual conference and its affiliated tracks in its list of "Top Conferences".

## **2.2. Artigo aceito**

A seguir, o artigo aceito a ser apresentado na conferência ICWN'16. O artigo tem o título "A Routing Technique Based on Least Delay Path for Medical Application Networks".

Este artigo apresenta resultados referentes aos estudos desenvolvidos sobre critério de encaminhamento baseado em caminhos de menor atraso em redes de aplicação médica.

# A Routing Technique Based on Least Delay Path for Medical Application Networks

R. Plovas<sup>1</sup>, S. Motoyama<sup>2</sup>

Faculdade Campo Limpo Paulista (FACCAMP), Campo Limpo Paulista, SP, Brazil

<sup>1</sup>ronaldplovas@hotmail.com, <sup>2</sup>shumotoyama@gmail.com

**Abstract** - A routing technique based on least delay path for medical application network is proposed in this paper. The proposed technique uses the amount of packet queued in the nodes as the weight to calculate the least delay path. Two types of algorithms are proposed using different attributions of weights. In first case, a fixed weight is used to update tables and calculate new least delay path. In second case, different weight values are attributed to the nodes according to the buffer occupation. These two algorithms are implemented in the OMNeT++ simulation program and compared to the shortest path algorithm. The results are very promising, and showed that the proposed algorithms are suited to the medical application networks.

**Keywords:** Wireless Routing, IoT, WBAN, RFID, Least Delay Routing

## 1 Introduction

The recent advances of wireless technology are making possible many innovations in various application fields. The fields of application such as agriculture, urban traffic control, healthcare, industrial automation, etc., have been benefited by this evolving wireless technology. In these fields, the wireless sensors have emerged as new technological components of great importance.

The wireless sensors can have various features, since the measurement of several parameters according to the required application, passing through data reception and processing and up to wireless transmission. These sensors provided with all the functionality are denoted generically as sensor nodes in this paper. The interconnection of these sensor nodes in a network is called as wireless sensor network.

In healthcare field, the vital signs remote monitoring of patients can be highlighted as an application of this type of network. This kind of network has been called as Wireless Body Area Network (WBAN), and the obtained vital signs of patients are presented to a medical staff of a hospital or transmitted, remotely, through the Internet, to a private physician.

For the interconnection of several WBANs installed in urban or rural communities, another technology that is under development could be used, the Internet of Things (IoT) [1]. The main concept of IoT is to assign intelligence to all objects

(things), and these objects communicate with each other, and also with people, composing a network of objects. One of the main components of the IoT is RFID (Radio Frequency Identification) that enables the wireless reading of data stored in an object. The patient data from WBANs scattered in homes of a community (urban or rural) could be read through the RFIDs readers composing a network of RFIDs. In this network, RFIDs readers would work cooperatively to transmit data to a hospital or medical center, as seen in Serafim and Motoyama [2]. One of the problems found in a network of RFIDs for WBANs is the routing of packets within this network so that to obtain a faster path up to the node that has access to the medical center or hospital.

The aim of this work is to study a routing technique for Medical Application Networks where packets should be forwarded as soon as possible, i.e., through a path having least delay within the network. The routing algorithms found in the literature are primarily based on search algorithms for shortest paths. These algorithms may cause too high delays, even substantially compromising the network usage. In order to verify the efficacy of the proposed technique in comparison with other solutions presented in the literature, this study is carried out through computer simulation.

This paper is organized into five sections. In section 2, the main routing techniques that could be used in Medical Application Networks are discussed. In section 3, the general configuration of Medical Applications Network using the IoT technology is presented. The routing technique based on least delay path is detailed in section 4. Finally, in section 5 the main conclusions of this work are presented.

## 2 Related Work

In this section, some types of routing techniques for wireless networks that may be suitable for medical application networks are described.

A routing technique called WRP (Wireless Routing Protocol) is presented in Murthy [3]. This is a distance-vector protocol based on a set of tables in each node. Four tables are used: distance, routing, cost and updating.

The distance table from a node  $x$  contains the distance to each destination node  $y$  through each neighboring node  $z$  of  $x$ . The information of the next node of the route, neighbor of  $z$ , is also included in the table. The routing table of the node  $x$  contains an entry for each known destination  $y$ , which specifies the destination identifier, the distance to the

destination  $y$ , the predecessor of the chosen shortest path to  $y$ , the successor of the chosen shortest path to  $y$  and a marker used to update routing table specifying whether the entry corresponds to a simple path, a loop or an unmarked destination. The storage of the predecessor and successor in the table is useful in the case of detecting loops and avoid problems of counting to infinity. The link cost table contains link cost of each neighboring node and the number of errors by timeout until an error-free message is received by that node. To update the tables, each node maintains a Message Retransmission List (MRL) containing the information of neighboring nodes that still require update messages. The nodes share the data from their routing tables with neighboring nodes, periodically, through update messages, and also when there are changes in the link. After reception of an update message, the node makes the necessary changes in their distance table and checks the best paths based on the new information. Any new path found is sent to the source nodes in order to update their tables. And in the case of finding a better path than the one in the routing table, it is also updated. After reception of the acknowledgment packets, the node updates its Message Retransmission List (MRL).

In routing technique called CGSR (Clusterhead Gateway Switch Routing), presented in Chiang [8], the mobile nodes are aggregated into clusters, and a cluster-head node is elected. All nodes within range of this cluster-head will belong to its cluster. A gateway node is a node that is within communication range of two or more cluster-heads, providing communication between clusters. In a dynamic environment, to not lose performance due to constant cluster-head elections, LCC (Least Cluster Change) algorithm is used. In LCC, cluster-head change occurs only when the two cluster-heads are part of the same cluster or when one of the nodes of the network moves out of range of any cluster-head. In this protocol, the source node should transmit its data packet to its cluster-head. From this cluster-head, transit packets are sent to the gateway node, where it will be sent to the next cluster. The process continues until it reaches the end cluster-head. Finally, the target cluster-head transmits the data packet to the destination node.

A routing technique based on a hierarchical model, called HDP (Height Distance and Power consumption algorithm), is presented in Sinha and Barman [7]. In this model, the receivers are grouped into clusters, and cluster communication data are aggregated in order to reduce the number of transmissions to the base station, thus reducing power consumption. This routing algorithm is based on interactions. Each interaction is comprised by the phases of setup and transmission. In the setup phase, the main nodes are chosen; in the transmission phase, the chosen ones make the aggregation of data to be transmitted to the base station. It is also carried out an analysis of power consumption for each node and the network as a whole, in order to prolong the lifetime of the sensor network. The shortest path criterion is used for the packet routing from the source node to the destination node. Afterwards, the required updates are performed by adding or removing the sensor nodes.

The routing scheme called GBR (Gradient Based Routing) presented in Schurgers and Srivastava [6] is based on gradient technique, used also in other ad hoc routing protocols. In this approach, it is used a gradient index based on the property of each node having a minimum number of hops to the sink node. The amount of gradient, in this context, is calculated from the weight differences from one node to its neighbor. Data packets are preferably transmitted through higher gradient links. In order to increase network efficiency, auxiliary techniques are also employed for this routing model, such as data aggregation and complementary packages spreading techniques. In terms of data aggregation, the nodes closest to the communication point are likely to become Data Combination Entities (DCE) enabling data compression. In the complementary spreading techniques, three schemes are used: Stochastic Scheme (when there are two or more nodes with the same lower gradient, one is chosen randomly), Energy-based Scheme (when a node detects its energy reserve fell below a certain level, this node will increase its height to discourages others nodes to send data to it) and Stream-based Scheme (when a node detects that it is already been part of one or more data streams, this node increases its height on the network in order to discourage new data streams using this node). These techniques work together to achieve a more even distribution of traffic, the load balancing and increasing the network lifetime.

### 3 IoT in Medical Application Networks

The routing techniques, discussed in section 2, are used mainly for wireless ad hoc networks and are based on the fact that the nodes of these networks can be in constant motion or in situations that these nodes can stop working for reason of failure or lack of energy. Thus, the routing techniques should be quite robust, favoring multiple alternative paths. These techniques are mostly based on shortest path search algorithms. For Medical Applications Networks, an essential feature is that packets should arrive at their destinations quickly and safely. Particularly, during heavy traffic conditions, when packet delays start to increase, the routing technique should provide the even delays from source to destination for all packets.

This paper proposes a routing technique based on a routing path with least delay across the network.

Fig. 1 illustrates a general overview of a Medical Application Network proposed in this work.

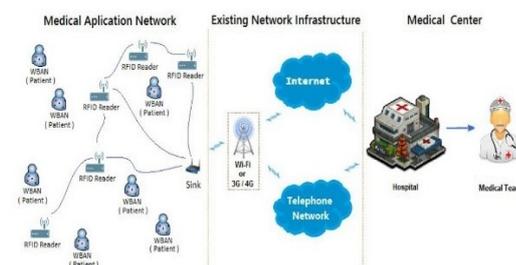


Figure 1. Overview of a Medical Application Network.

As seen in Fig. 1, the network is divided into three parts: first part corresponding to the Medical Application Network itself, another part of existing network infrastructure, and finally the part of the Medical Center where the data is processed. At the Medical Application Network, the WBANs are installed in each patient, collecting the necessary health indicators. All patient data are collected from WBANs through RFIDs readers (Radio Frequency Identification) that communicate cooperatively to transfer data to the sink node, and, then, through the existing network infrastructure to the medical center. In the part named as Existing Network Infrastructure, all existing technologies for sending collected data can be used. And finally, in the part referred as the Medical Center, all devices and software for remote monitoring of the patient health status are provided.

The aim of this work is to study the problem of packet (patient data) routing on the Medical Application Network.

It should be noticed that in Medical Applications Networks, RFIDs readers will not have much mobility. They are occasionally relocated to different places for a better reading of WBAN's data. In addition, readers must cooperate themselves to make the data packets reach an end node (sink) of low mobility, allowing the access to the medical center or hospital. However, the Medical Application Networks must transfer the data very quickly, almost in real time, and with enough security and reliability.

The packet routing technique proposed in this paper for Medical Application Networks uses, as the criterion of choice of route, the path of least delay across the network. Many criteria may be used to estimate packet delay on each node. The criterion used in this work is the buffer management on each node by checking the accumulation of packets. The routing will be done along the path where there is less packet accumulated in the entire network. The checking will be made periodically in short time intervals, and each node should update its table of delays and transmits it to neighboring nodes. After several iterations, each node will have a table containing the delays of all neighboring nodes. Each node will use this updated table to route each packet by choosing the least delay path.

#### 4 Routing Based on Least Delay Path

The routing technique for least delay path proposed in this work is based on the criterion of counting the number of accumulation of packets in each node in the network. Each node manages its buffer by checking the amount of stored packets. From time to time this amount is informed to neighboring nodes, so that all of them, after certain time, have the packet accumulation information from all network nodes in a table. Each node uses the values in this table as the nodes weights and calculates the path of least number of packets stored through Dijkstra algorithm.

To check, dynamically, the operation of the proposed routing technique, the OMNeT ++ discrete event simulation software presented in Varga and Hornig [5] is used. The topology of the network to be analyzed is shown in Fig. 2 and it was studied in [6]. The network has certain complexity

showing some bottleneck points as the node 15, whose packets coming from the nodes 16 to 23 may pass only by this node.

The Dijkstra algorithm used in this work is based on the following steps.

Step 1. Choose a source node. Set up a table of weights for all nodes, initially, with infinite weight values. The source node is associated with weight 0. As the steps are executed, the weight table will store the weights of the found nodes.

Step 2. Search for adjacent nodes that are not already in the weight table. For each adjacent node found, assign the node identification with the sum of the weights.

Step 3. Make the selection of the least weight path and add it in the weight table.

Step 4. Repeat steps 2 and 3 until the searching for all nodes is complete and correspondent data are added in weight table. If a particular node is not found, it stays with the infinite weight.

When, finally, the destination node value is assigned, this value indicates the total weight of the source node to the destination node. If not assigned, it indicates that there is no available path from the source node to the destination node.

For routing technique based on least delay, the routing tables are rebuilt every time when any of the buffers from the nodes reaches a predetermined reference (trigger) value. The new weights are based on counting the number of packets in each buffer of each node in the network routing path.

In this work, each link between nodes has a data rate of 250kpbs. The signal propagation delay in each link is neglected. The data packets have fixed size of 1024 bytes. The network control packets are not considered, since the objective is the proof of the routing technique concept based on least delays.

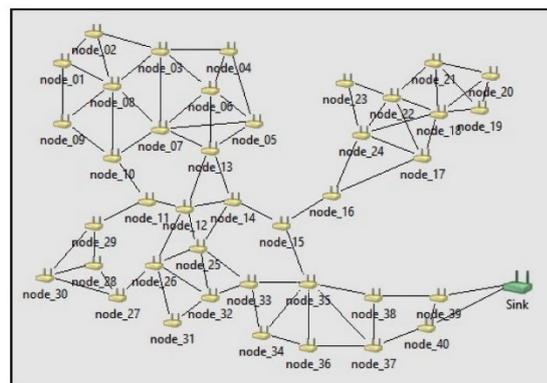


Figure 2. Network topology used for this work; originally presented in [6].

Initially, it is considered an equal weight value of 100 for all nodes of the network for Dijkstra algorithm running purpose. To assist the tie-breaking criterion between routes, each connection between nodes has been attributed weight value of 1. The packet generation has Poisson distribution and a high load of 1.0 packets/sec for each node is adopted during 600s of simulation time.

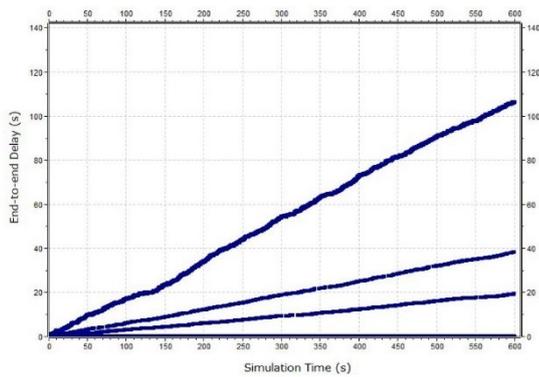


Figure 3. Packet delay from source node to the sink node of each packet using shortest path routing algorithm. Graph is aggregated of all packet delays.

The graph of Fig. 3 shows the results of packet delays for shortest path routing algorithm when the network of Fig.2 is analyzed. In Fig. 3, both axes are in time, and delays for each of the packets generated and forwarded to the sink are computed as a function of time of simulation. Should be noticed that the delay values, in this case, are splitting into 4 different groups during the simulation, as seen by the thick delay lines shown in Fig. 3. These delay thick lines, in fact, are made by a range of delay values, as seen in Fig. 4 which shows the initial moments of simulation with enlarged view. It can be noticed that the lines, indeed, are composed of many points, each point corresponding to a packet delay. Interesting to note in Fig. 3 that the packet delays have an almost linear growth in each group. Besides the high load packet generation adopted in this work, other reason for this behavior, is due to the fact that some of the data packets take a longer time in bottlenecks to reach the target Sink node, compared to the data packets from nodes that are in the vicinity of the Sink node.

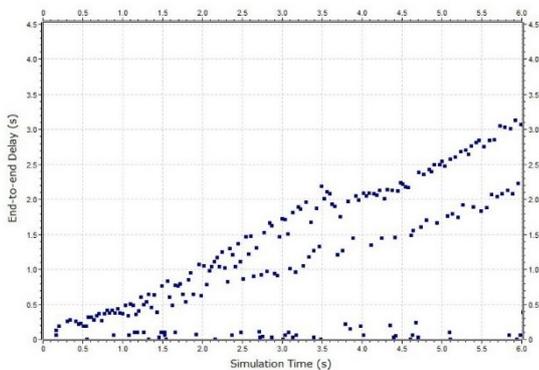


Figure 4. Enlarged view of aggregated packets delays from nodes to the sink node during the initial 6 seconds of simulation.

The general mean arrival delay of all packets to the Sink node within 600s of simulation reached above the 6s. The

variations of delays reaching from about 0 to above 108 secs, as seen in Fig. 3, are not suitable for Medical Applications Networks, because these packets with greater delays may contain emergency data. Thus, a type of routing that could provide smaller variations in delay should be very usable in this kind of scenario.

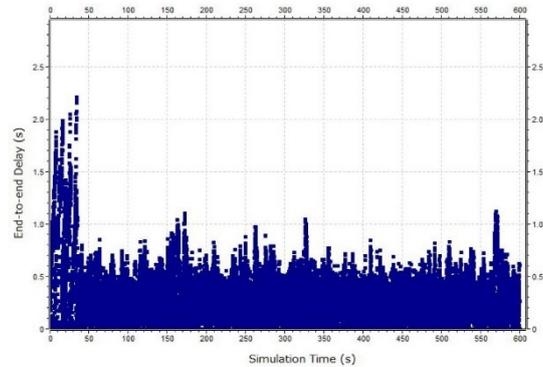


Figure 5. Packet delay from source node to the sink node using least delay routing algorithm with fixed weight. Graph is aggregated of all packet delays. Trigger set to 25 packets.

The graph of Fig. 5, on the other hand, shows the results of delays simulated under the same conditions, but now, adopting the least delay routing algorithm proposed in this work. As can be seen in figure, the packet delays to the Sink node, excluding the initials delays, have more even delays behavior compared to the Fig. 3. In this case, the concept of trigger is used to determine the right moment when the tables updating process occurs to run the Dijkstra algorithm, getting a new set of better optimized paths.

The proposed algorithm using trigger concept for updating the routing tables is shown below.

```

INPUT:
  Trigger_Value: NUMERIC
  Nodes_Quantity: NUMERIC
  Queue_Size: NUMERIC ARRAY

OUTPUT:
  Node_Weight: NUMERIC ARRAY

DECLARES:
  Trigger: BOOLEAN

1: Trigger ← FALSE
2: FOR i = 0 TO Nodes_Quantity DO
3:   IF (Queue_Size[i] > Trigger_Value) THEN
4:     Trigger ← TRUE
5: END-FOR
6: FOR (Trigger == TRUE) THEN
7:   FOR i = 0 TO Nodes_Quantity DO
8:     IF (Queue_Size[i] == 0) THEN
9:       Node_Weight[i] ← 100
10:      ELSE
11:        Node_Weight[i] ← 225
12:      END-FOR
13: DIJKSTRA ALGORITHM RUNS

```

For every node with any number of queued packets is attributed a fixed increase of 125% in its weight. The Dijkstra algorithm is executed using the new set of weights. New routes are calculated and stored in tables.

The graph of Fig. 5 shows a more stabilized delay behavior. The general mean delay of data packets to sink node is 328 ms during 600 s of simulation. There is, still, an unstable region in the beginning of the network operation, where delays are relatively high. However, after this initial moment, the stabilization occurs in the network providing smaller delays.

It is noticed, however, the existence of further spikes of delays in some regions of the graph. This is due to the fact that the trigger mechanism uses a fixed value increment without taking into account the gradual occupation of the queue.

To improve the performance, an alternative algorithm is implemented taking into account the queue occupation to influence the weight increment at each node. This algorithm is shown below.

INPUT:

Trigger\_Value: NUMERIC  
Nodes\_Quantity: NUMERIC  
Queue\_size: NUMERIC ARRAY

OUTPUT:

Node\_Weight: NUMERIC ARRAY

DECLARES:

Trigger: BOOLEAN

```

1: Trigger ← FALSE
2: FOR i = 0 TO Nodes_Quantity DO
3:   IF (Queue_size[i] > Trigger_Value ) THEN
4:     Trigger ← TRUE
5: END-FOR
6: IF (Trigger == TRUE ) THEN
7:   FOR i = 0 TO Nodes_Quantity DO
8:     SWITCH Queue_size[i]
9:       CASE > 5 DO
10:        Node_Weight[ i ] ← 224
11:       CASE > (Trigger_Value / 2 ) DO
12:        Node_Weight[ i ] ← 225
13:       CASE > (Trigger_Value - 5 ) DO
14:        Node_Weight[ i ] ← 226
15:       ELSE
16:        Node_Weight[ i ] ← 100
17:     END-SWITCH
18:   END-FOR
19: DIJKSTRA ALGORITHM RUNS

```

Initially, the condition of the trigger firing is checked. When the trigger condition is met, it allocates a weight to the node in accordance with the momentary queue occupancy of the waiting packets. For nodes with less than 5 packets waiting in the buffer, there is no increase in its weight. For nodes with more than 5 packets in queue, the weight increases 124%. The nodes that have a number of packets over half the trigger value receive an increase of 125%. And for the nodes that have a number of packets queued above 5 packets to reach the trigger value, receive an increase of 126% in their weights. Finally, the Dijkstra algorithm is executed by using this new combination of weights.

The graph of Fig. 6 illustrates the packet delays using variable weights algorithm based on the occupancy rate of node queues. The general mean delay of packets to the Sink node reached 281ms for 600s of simulation. A substantial decrease in spikes of delays is noticed, reflecting improvement in routing results.

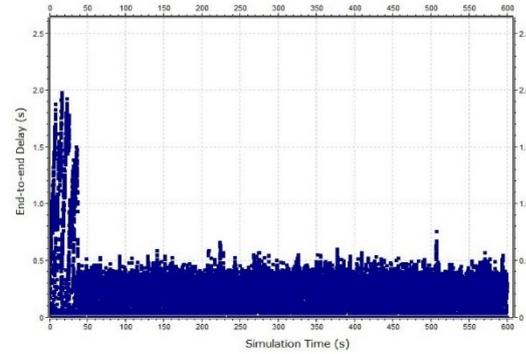


Figure 6. Packet delay from source node to the sink node using least delay routing algorithm with variable weights. Graph is aggregated of all packet delays. Trigger set to 25 packets.

## 5 Conclusions

The proposed routing technique was based on packet accumulation in the nodes to calculate the least delay path. Two types of algorithms were proposed based on trigger, which is a reference value of packet accumulation in a buffer to take actions. In first case, a fixed trigger was used, in which the number of packets in queue must reach the trigger value to update tables and calculate new least delay path using different weights. In second case, the trigger value was also fixed, but actions are taken before the number of packets in queue reaches the trigger value, i.e., some intermediate values are used to gradually increase the weight of nodes. These two algorithms were implemented in the OMNeT++ simulation program and compared to the shortest path algorithm. The results showed that the shortest path algorithm for network analyzed had packets delays in a large range of variations, from 0 to 106.71 secs, with mean time of about 6s. The proposed two algorithms, on the other hand, for the same network analyzed, showed substantial improvement, having range variations from 0 to 1.12 sec, with mean time of 328 ms, for first algorithm, and from 0 to .756 sec, with mean time of 281 ms, for second algorithm, both cases considering in stable conditions. These results showed that the proposed algorithms are suited for the medical application networks.

In future work, a different criterion of packet delay estimation will be explored. Instead using the counting of packets in a buffer for the packet delay estimation, this criterion is based on the measurements of the input rate and lengths of packets in each node, and a simple M/M/1 queue formula will be used for delay estimation.

## 6 References

- [1] Yang, D., Liu, F., Liang, Y. (2010) "A Survey of the Internet of Things." *International Conference on E-Business Intelligence (ICEBI-2010)*, Advances in Intelligent Systems Research. Atlantis Press, p. 358 – 366.
- [2] Serafim, E. and Motoyama, S. (2014) "A Network Structure for Medical Assistance in Rural and Urban Areas Using IoT Technology" *International Conference on Wireless Networks*, ICWN2014, Las Vegas, p. 42-46.
- [3] Murphy, S. and Garcia-Luna-Aceves J.J. (1996) "An Efficient Routing Protocol for Wireless Networks." *ACM Mobile Networks and App. J., Special Issue on Routing Mobile Communication Networks*, Oct. 1996, p. 183 – 197.
- [4] Cordeiro, C. M and Agrawal, D. P. (2011) "*Ad Hoc and Sensors Networks – Theory and Applications*", World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., p. 18-41.
- [5] Varga, A. and Hornig, R. (2008) "An Overview of the OMNeT++ Simulation Environment". *Proceedings of the 1<sup>st</sup> International Conference on Simulation Tools and Techniques for Communications, Networks, and Systems & workshops*, March 2008, Marseille, France.
- [6] Schurgers, C. and Srivastava, M. (2001) "Energy efficient routing in wireless sensor network" *MILCOM Proceedings on Communications for Network-Centric Operations: Creating the Information Force*, McLean, VAC.
- [7] Sinha, J. and Barman, S. (2012) "Energy efficient routing mechanism in wireless sensor network" *1<sup>st</sup> int'l Conf. on Recent Advances in Information Technology*.
- [8] Chiang, C.-C. (1997) "*Routing in Clustered Multihop. Mobile Wireless Networks with Fading Channel*", Proc. IEEE SINCON'97, Apr. 1997, p. 197-211.