

*Dimensionamento do Número de Redes
Corporais Sem Fio (WBAN's) para os Nós
Coletores Organizados em Forma de Cluster*
Robhyson Denys Rodrigues da Silva
Maio / 2018

Dissertação de Mestrado em Ciência da Computação

FICHA CATALOGRÁFICA

Ficha catalográfica elaborada pela

Biblioteca Central da UNIFACCAMP

Silva, Robhyson Denys Rodrigues da
Dimensionamento do número de redes corporais sem fio (WBAN´S) para os nós coletores organizados em uma configuração cluster / Robhyson Denys Rodrigues da Silva. Campo Limpo Paulista, SP: UNIFACCAMP, 2018.

Orientador: Profº. Dr. Shusaburo Motoyama
Dissertação (Programa de Mestrado em Ciência da Computação) – Centro Universitário Campo Limpo Paulista – UNIFACCAMP.

1. WBAN. 2. Cluster. 3. Redes de computadores. I. Motoyama, Shusaburo. II. Campo Limpo Paulista. III. Título.

CDD-005.16

Dimensionamento do Número de Redes Corporais sem Fio (WBAN's) para os Nós Coletores Organizados em Forma de Cluster

Esse documento corresponde a Dissertação de Mestrado apresentado à Banca Examinadora para defesa no curso de Mestrado em Ciência da Computação do Centro Universitário Campo Limpo Paulista.

Campo Limpo Paulista (SP), 30 de Maio de 2018.

Robhyson Denys Rodrigues da Silva

Shusaburo Motoyama (Orientador)

Agradecimentos

Em especial ao meu orientador Prof. Dr. Shusaburo Motoyama, pelo incentivo à realização dessa dissertação, com sua dedicação, boa vontade, pontualidade nas orientações, sua incomparável paciência e exigência, além de seu vasto conhecimento.

Ao coordenador do curso Prof. Dr. Osvaldo Luiz de Oliveira por seu brilhante trabalho junto a Coordenação do Programa, onde pude dirimir diversas dúvidas.

Ao professor Dr. Damião Pedro Meira Filho pelas profícuas discussões sobre parte desta dissertação.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPa) pelo suporte durante todo o período do programa, bem como incentivo pela conclusão deste trabalho.

Aos colegas, professores e funcionários do programa de mestrado em Ciência da Computação da UniFaccamp, onde podemos estudar, pesquisar e discutir os temas e assuntos relacionados a linha de pesquisa.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo suporte financeiro contribuindo para a formação e manutenção de padrões de excelência e eficiência na formação de recursos humanos de alto nível.

Resumo. *Nessa Dissertação é proposta uma técnica de dimensionamento do número de WBANs para os nós coletores organizados em forma de cluster. As WBANs, nessa estrutura, ficam, juntamente com os nós sinks, nas extremidades da rede. Um esquema de acesso é providenciado para que os nós sinks, que temporariamente, armazenam os pacotes de dados das WBANs, transmitam esses pacotes para os nós coletores. Os nós coletores formam um cluster que se cooperam entre si para encaminhar os dados até um nó coordenador que por sua vez tem acesso ao destino, como por exemplo um hospital diretamente ou através da Internet. Os enlaces de transmissão utilizados nessa estrutura são todos sem fio de, relativamente, capacidades baixas. Além disso, como proposto na estrutura de rede para coleta de dados, que pode ser utilizado em quaisquer aplicações que tenha um limite máximo para o atraso médio total, há necessidade desses dados chegarem o mais rápido possível ao destino com tempo de atraso médio de até 500 ms. O dimensionamento proposto, nesta dissertação, leva em conta para os cálculos, os atrasos médios das WBANs, os atrasos médios dos pacotes na estrutura da rede e do cluster, através da teoria de fila. São apresentados como resultados curvas com a quantidade do número de WBANs em relação ao atraso médio total, assim como os resultados obtidos pela simulação computacional e comparados com os resultados teóricos para diversas capacidades de enlace e taxas de envio de pacotes. Finalmente, podemos concluir que, um fator importante é que as capacidades dos enlaces, na estrutura proposta, são muito importantes na definição dos números de WBANs, bem como a relação tempo médio da rede e tempo médio de transferência na definição dos números de WBANs, indicando que quanto maior for o atraso no cluster de nós coletores, menor será o número de WBANs.*

Palavras-chaves: WBAN; Cluster; Redes de Computadores.

Abstract: *A technique for scaling the number of WBANs for the collector nodes organized in a cluster, in this dissertation. The WBANs at the ends of the network, in that structure, are, together with the collector nodes. An access scheme is provided so that the collector nodes, which temporarily store the data packets of the WBANs, transmit those packets to the collector nodes. The collector nodes form a cluster that cooperates with each other to forward the data to a coordinator node that, in turn, has access to the destination, such as a hospital directly or through the Internet. The transmission links used in this structure are all wireless, with relatively low capacities. In addition, as proposed in the network structure for data collection, which can be used in any application that has a maximum limit for the total average delay, it is necessary that this data arrives as fast as possible at the destination with average time delay of up to 500 ms. The proposed dimensioning, in this dissertation, takes into account the calculations, the average delays of the WBANs, the average packet delays in the network structure and the cluster, through the queuing theory. The results of the curve are presented with the number of WBANs in relation to the average total delay as well as the results obtained by the computational simulation and compared with the theoretical results for various link capacities and packet sending rates. Finally, we conclude that an important factor is that the link capacities in the proposed structure are very important in the definition of the WBAN numbers, as well as the average network time and the average transfer time in the definition of the WBAN numbers, indicating that the higher the delay of the cluster node, the smaller the number of WBANs.*

Keywords: WBAN; Cluster; Computer Network.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	5
1.1 MOTIVAÇÃO	8
1.2 OBJETIVOS E CONTRIBUIÇÕES	9
1.3 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	10
CAPÍTULO 2. CONCEITOS E REQUISITOS DE WBANS E ESTRUTURA CLUSTER PARA WBANS	11
2.1 REDE DE ÁREA CORPORAL SEM FIO	11
2.2 TRABALHOS RELACIONADOS	15
2.3 CONCLUSÃO	16
CAPÍTULO 3. PROPOSTA DE REDE E ANÁLISE DE DESEMPENHO	17
3.1 MODELO DE REDE PARA DIMENSIONAMENTO	19
3.2 ESTIMAÇÃO DE ATRASOS PARA DIMENSIONAMENTO	22
3.4 EXEMPLOS NUMÉRICOS E RESULTADOS	24
CAPÍTULO 4. SIMULAÇÕES E RESULTADOS	34
CAPÍTULO 5. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	47
ARTIGOS PUBLICADOS	49

REFERÊNCIAS	50
APÊNDICE A – DETALHES DO SOFTWARE DESENVOLVIDO	55
ANEXO I – PREMIAÇÃO DE PUBLICAÇÃO	59

Glossário

WBAN - Wireless Body Area Network – Rede de Área Corporal Sem Fio

VDS – Virtual Doctor Server – Servidor Virtual Médico

WPAN – Wireless Personal Network – Rede de Área Pessoal Sem Fio

Sink – Nó Concentrador de Informações de Sensores.

TDMA – *Time Division Multiple Access*. Acesso Múltiplo Por Divisão De Tempo

RSSF – Redes de Sensores Sem Fio

WSN – Wireless Sensor Network – Rede de Sensores sem Fio

Gateway – Ponte para Unir Duas Redes

QoS – Quality of Service – Serviço de controle de qualidade para tráfego de dados.

λ - Taxa de Envio de Pacotes

$E\{X\}$ – Comprimento de Pacotes em bits

M – Quantidade do Número de WBANs

R – Capacidade de Enlace

Slot – Parte de um protocolo ou compartilhamento para colocação de dados.

Lista de Tabelas

1. Tabela 1. Domínio e Aplicações para WBANs [22](#)
2. Tabela 2. Número de WBANs Para Tempo Médio de Atraso de 300 ms [35](#)
3. Tabela 3. Número de WBANs Para Tempo Médio de Atraso de 400 ms [37](#)
4. Tabela 4. Número de WBANs Para Tempo Médio de Atraso de 500 ms [39](#)
5. Tabela 5. Capacidades do Sistema de Coleta de Dados e Cluster [40](#)
6. Tabela 6. Número de WBANs Para Tempo Médio de Atraso de 500 ms para capacidades diferentes. [42](#)
7. Tabela 7. Comparações entre os Resultados Teóricos e Simulados para atraso Médio de 500 ms e capacidades de enlace R_1 e $R_2 = 500$ Kbps [45](#)
8. Tabela 8. Comparações entre os Resultados Teóricos e Simulados para atraso Médio de 400 ms e capacidades de enlace R_1 e $R_2 = 500$ Kbps [47](#)
9. Tabela 9. Comparações entre os Resultados Teóricos e Simulados para atraso Médio de 300 ms e capacidades de enlace R_1 e $R_2 = 500$ Kbps [49](#)
10. Tabela 10. Comparações entre os Resultados Teóricos e Simulados para atraso Médio de 500 ms e capacidades de enlace $R_1=250$ Kbps e $R_2 =500$ Kbps [51](#)
11. Tabela 11. Comparações entre os Resultados Teóricos e Simulados para atraso Médio de 500 ms e capacidades de enlace $R_1=500$ Kbps e $R_2 =1$ Mbps [53](#)

12. Tabela 12. Comparações entre os Resultados Teóricos e Simulados para atraso Médio de 500 ms e capacidades de enlace $R_1=500$ Kbps e $R_2=2$ Mbps [55](#)

Lista de Figuras

- Figura 1. WBAN comparado com WPAN (Adaptado da figura presente em [15](#) Latré et al. 2011).
- Figura 2. Arquitetura do Sistema de Incêndio Baseado em BAN (Adaptado [17](#) da figura presente em Youssef et. al. 2015)
- Figura 3. Rede de Sensores de Aplicações de Monitoramento Biomédico [20](#) (Adaptado da figura presente em Wegmüller et al. 2007)
- Figura 4. Exemplo Típico de WBAN (Adaptado da figura presente em [21](#) Movassaghi et al. 2014)
- Figura 5. Estrutura de Rede para Coleta de Dados. [27](#)
- Figura 6. Estrutura de Quadros do TDMA [29](#)
- Figura 7. Modelo de Fila do Sistema de Coleta de Dados [30](#)
- Figura 8. Modelo de Fila do Cluster de Nós Coletores [30](#)
- Figura 9. Quantidades de WBANs em função das taxas de entradas para [34](#) diversas capacidades e $T_{rede} / T_{transf} = 0,8$ para $T_{transf} = 300$ ms
- Figura 10. Quantidades de WBANs em função das taxas de entradas para [36](#) diversas capacidades e $T_{rede} / T_{transf} = 0,8$ para $T_{transf} = 400$ ms
- Figura 11. Quantidades de WBANs em função das taxas de entradas para [38](#) diversas capacidades e $T_{rede} / T_{transf} = 0,8$ para $T_{transf} = 500$ ms
- Figura 12. Quantidades de WBANs em função das taxas de entradas para [41](#) diversas capacidades e $T_{rede} / T_{transf} = 0,8$ para $T_{transf} = 500$ ms

- Figura 13. Quantidades de WBANs em função da Média de Atraso para capacidades (R_1 e $R_2 = 500$ kbps) e $T_{rede} / T_{transf} = 0,8$ para $T_{transf} = 500$ ms. [44](#)
- Figura 14. Quantidades de WBANs em função da Média de Atraso para capacidades (R_1 e $R_2 = 500$ kbps) e $T_{rede} / T_{transf} = 0,8$ para $T_{transf} = 400$ ms. [46](#)
- Figura 15. Quantidades de WBANs em função da Média de Atraso para capacidades (R_1 e $R_2 = 500$ kbps) e $T_{rede} / T_{transf} = 0,8$ para $T_{transf} = 300$ ms. [48](#)
- Figura 16. Quantidades de WBANs em função da Média de Atraso para capacidades ($R_1=250$ kbps e $R_2=500$ kbps) e $T_{rede} / T_{transf} = 0,8$ para $T_{transf} = 500$ ms. [50](#)
- Figura 17. Quantidades de WBANs em função da Média de Atraso para capacidades ($R_1=500$ kbps e $R_2=1$ Mbps) e $T_{rede} / T_{transf} = 0,8$ para $T_{transf} = 500$ ms. [52](#)
- Figura 18. Quantidades de WBANs em função da Média de Atraso para capacidades ($R_1=500$ kbps e $R_2=2$ Mbps) e $T_{rede} / T_{transf} = 0,8$ para $T_{transf} = 500$ ms. [54](#)

1. Introdução

A evolução de rede sem fio está permitindo inovações tecnológicas que podem afetar todo o cotidiano das pessoas (Akyildiz et. al. 2002). Essas inovações estão revolucionando aplicações tecnológicas em controle, rastreamento, monitoramento e automação (Selavo et. al. 2007)(Braga et. al. 2009). Uma evolução bastante observada ocorreu em Rede de Sensores Sem Fio (RSSF), e que está possibilitando a sua aplicação em área médica, mudando assim a mobilidade humana com uma tecnologia implantado no corpo ou mesmo vestível (Movassaghi et al. 2014). Uma das redes mais notáveis nessa área é a Rede Corporal de Sensores Sem Fio (WBAN - Wireless Body Area Network, em inglês), que permite o monitoramento remoto e contínuo de todos os órgãos vitais de uma pessoa acamada ou em movimento.

Os nós sensores em WBANs são heterogêneos, de baixo custo, com limitação de energia, reduzido e capturam informações fisiológicas que são armazenadas em um nó denominado de *sink* e posteriormente são enviadas a uma estação base central através de comunicação sem fio (Movassaghi et. al. 2013) chamada de nó coordenador. Os dispositivos sensores da WBAN devem fornecer respostas em tempo real sem causar desconforto ao usuário, proporcionando também maior flexibilidade e mobilidade (Otto et. al. 2006).

Na Figura 1 uma WBAN é comparada a uma rede pessoal sem fio (WPAN). Enquanto os dispositivos WPAN operam dentro de uma área de comunicação muito pequena, de até 10 metros para aplicações de alta taxa de dados, a faixa de comunicação dos dispositivos WBAN é limitada à área do corpo humano com valores típicos em torno de 1-2 metros (Latré 2011).

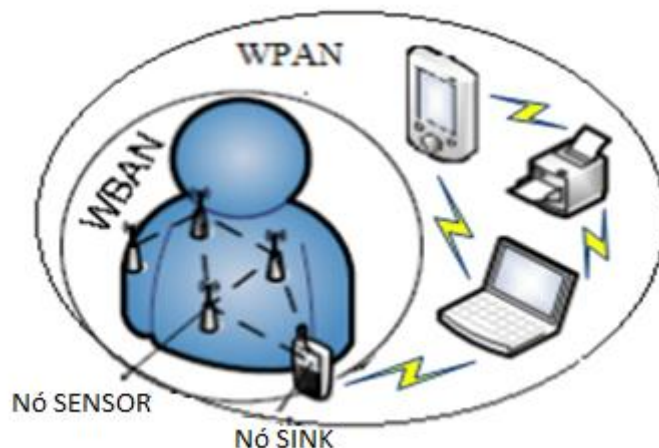


Figura 1. WBAN comparado com WPAN (Adaptado da figura presente em Latré et al. 2011).

Na literatura houve várias pesquisas relacionadas a WBANs, dentre elas, conduzida por (Barakah e Ammad-uddin 2012) que enfoca o papel do servidor virtual médico (VDS). Os aplicativos de saúde são pesquisados em (Crosby et al. 2012) e as camadas da WBAN são abordadas em (Ullah et al. 2012). Quanto aos protocolos de roteamento, (Movassaghi et al. 2013) forneceu uma revisão dos protocolos utilizados em WBANs. As propriedades de design da WBANs são descritas em (Cavallari et al. 2014) e o problema de coexistência foi explorado em (Hayajneh et al. 2014).

Existem vários tipos de aplicações nas WBANs, dentre elas podemos destacar na área do entretenimento, esporte, militar e na área da saúde. Essas aplicações WBANs são categorizadas como médica ou não médica (TG6 2012).

Em aplicações médicas, as WBANs permitem os médicos obterem uma visão bem ampla da situação de seus pacientes caracterizado por sua heterogeneidade uma vez que os dados são reunidos durante as atividades normais de um paciente em seu ambiente natural (Mahapatro e Khilar 2011).

As WBANs podem ficar fisicamente alojadas dentro de hospitais. Dessa forma, podem ficar espalhadas em uma área relativamente grande e há necessidade de uma infraestrutura de rede para coletar os dados armazenados em nós *sink* e enviar à estação base. Nos casos de hospitais e casas de repouso que possuem redes locais e Wi-Fis,

essas infraestruturas de rede poderão ser utilizadas sem nenhuma dificuldade. Se as residências possuírem Wi-Fi ou celulares 3G, 4G ou 5G, essas infraestruturas poderão ser usadas diretamente. E para montar WBANs, no Brasil, onde existem locais longínquos, sem infraestrutura de rede ou celulares 3G, 4G ou 5G, tais como em aldeias indígenas, em locais rurais pouco habitados ou mesmo em residências das cidades com dificuldade de acessos às redes de comunicação, há necessidade de implantar uma nova infraestrutura de rede. Uma infraestrutura de rede proposta na literatura para esses casos utiliza nós coletores (Zhao et. al. 2011)(Rohokale et. al. 2011). Os nós coletores formam uma estrutura em cluster, e atuam coletivamente e cooperativamente para transportar os dados até a estação base.

Nesse modelo de estrutura é formado uma topologia hierárquica na forma de cluster onde os nós coletores cooperam entre si até que os pacotes transmitidos cheguem ao nó coordenador. Um exemplo é encontrado em (Youssef et. al 2015) no sistema para bombeiros.

Na Figura 2 é mostrado um exemplo utilizando a forma de cluster, a estrutura é formada por uma rede ad hoc sem fio e um sistema vestível. Os bombeiros são organizados em grupos, formando diferentes cluster. Cada grupo é monitorado por um líder diretamente conectado ao comandante do incêndio e cada bombeiro pertence a apenas um cluster ao mesmo tempo e se comunica com o comandante de incêndio por meio de seu líder. Os bombeiros do mesmo cluster se comunicam juntos através de seu líder.

Os bombeiros estão equipados conjunto de sensores e um nó sink, formando um WBAN que coleta dados fisiológicos ambientais e eventos relacionados a emergência do campo de incêndio.

O comandante do incêndio está localizado fora da cena do incidente e é encarregado de gerenciar todo o acontecimento do incêndio. Através dos dados coletados, ele pode monitorar o estado de saúde e a localização de todos os bombeiros, fazer um cronograma em tempo real de sua atividade e reagir a alarmes e situações de emergência. Ele também é responsável por encaminhar todos os dados coletados para o corpo de bombeiros para análise posterior.

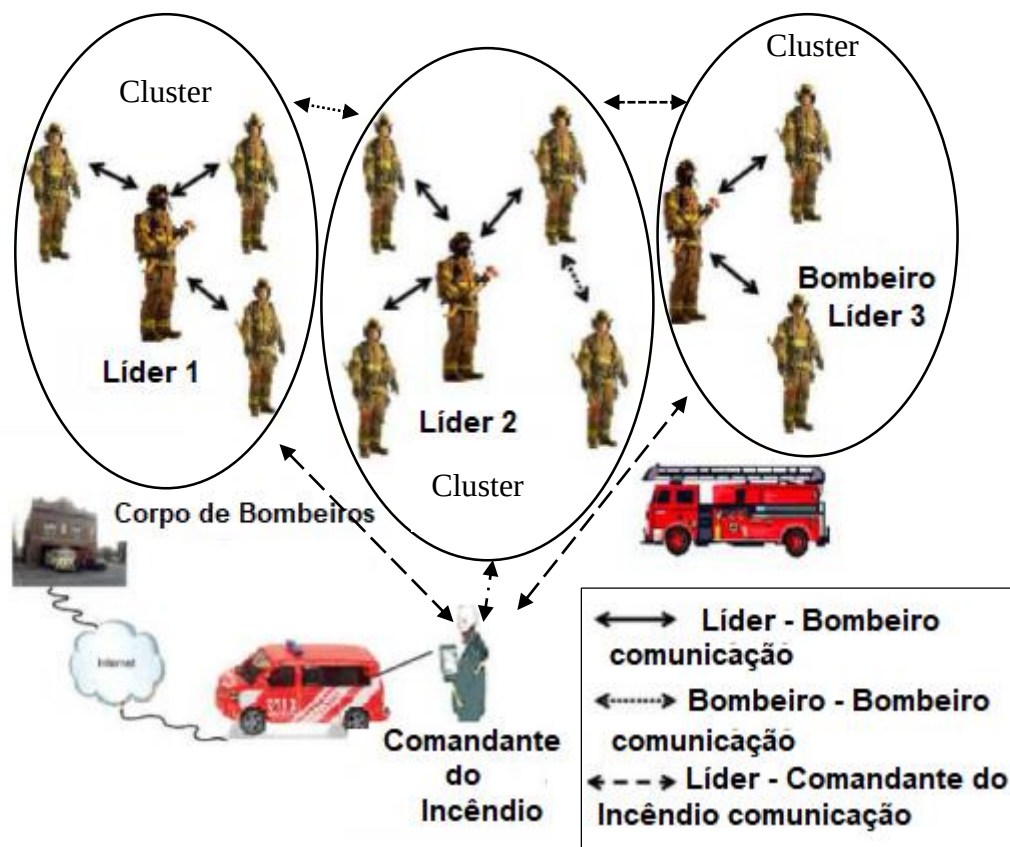


Figura 2. Arquitetura do Sistema de Incêndio Baseado em BAN

(Adaptado da figura presente em Youssef et al. 2015).

1.1 Motivação

O Brasil possui uma área territorial no valor de 8.515.759,090 km², sendo então considerado um país com vasta extensão territorial. O maior estado brasileiro – Amazonas encontra-se na região norte com 1.559.146,876 km², que supera a soma dos territórios das regiões Sul e Sudeste. Além disso o maior município brasileiro é Altamira no Pará e tem 159.533,328 km², com dimensão territorial maior que vários estados brasileiros (IBGE 2017). Nessas regiões encontram-se diversas comunidades ribeirinhas com nenhuma infraestrutura médica, o qual, pode complicar o quadro de saúde dessas populações.

Nessas comunidades, podemos destacar comunidades indígenas ou rurais localizadas em áreas relativamente distantes dos grandes centros. Assim como nessas

comunidades e também em determinados grandes centros urbanos tem a necessidade de infraestrutura na saúde pública para um atendimento satisfatório.

Para amenizar essa carência na infraestrutura descrita, podemos empregar WBANs para monitoramento de pacientes remotamente em seus domicílios, casas de repouso e até hospitais. Esse monitoramento remoto permite a diminuição de custos com deslocamentos para coleta de informações relacionados a saúde.

1.2 Objetivos e Contribuições

O objetivo desta dissertação é propor um dimensionamento do número de WBANs em uma rede de computadores para nós coletores organizados em forma de cluster. Nessa proposta, entretanto, os nós coletores possuem capacidades de enlace limitadas e são providas de esquemas de acesso para as WBANs enviarem os pacotes de dados. Além disso, o principal critério de restrição de dimensionamento utilizado neste trabalho é o atraso total na rede que deve ficar em valor baixo, próximo ao atraso utilizado para processar dados em tempo real de até 500 ms.

Uma diferente abordagem é feita em (Motoyama e Serafim 2014). Nessa abordagem, um estudo de dimensionamento de WBANs é apresentado levando em conta somente o atraso em um buffer do nó final (nó coordenador) onde todos os pacotes são direcionados.

A contribuição desta pesquisa é a proposta de uma estrutura de rede baseada em esquema de acesso que possa dimensionar o número de WBANs que não comprometa os dados médicos através do tempo total de atraso.

Outra contribuição é na modelagem e análise de rede para o dimensionamento baseado em um critério onde sensores devem fornecer respostas em tempo real sem causar desconforto ao usuário, proporcionando flexibilidade e mobilidade. Esses sensores estão alojados fisicamente em hospitais, casas de repouso de idosos ou em residências de pacientes.

1.3 Organização da Dissertação

Essa dissertação está desenvolvida da seguinte maneira:

Capítulo 2. Neste capítulo são apresentados conceitos e requisitos de WBANs, bem como estrutura cluster para WBANs.

Capítulo 3. Neste capítulo são apresentados a estrutura do modelo da rede proposta para coleta de dados das WBANs, o esquema de acesso utilizado, o modelo de fila do sistema de coleta de dados, estimação de atrasos para dimensionamento e exemplos.

Capítulo 4. Simulação e Resultados.

Capítulo 5. Conclusões e Trabalhos Futuros

Finalizando o texto do projeto de pesquisa são apresentados o apêndice e o anexo:

Apêndice A: Detalhes do programa desenvolvido para simulação.

Anexo I: Prêmio Recebido:

1. Certificado de premiação de melhor Artigo sob o título “Dimensionamento do Número de Redes Corporais Sem Fio (WBAN) para Estrutura do Tipo Cluster” na XIII Workshop de Computação da FACCAMP, WCF’2017.

Capítulo 2. Conceitos e Requisitos de WBANs e Estrutura Cluster para WBANs

Neste capítulo é exposto uma revisão bibliográfica resultante de pesquisas extraídas de bases de dados sobre *Redes de Área Corporal sem Fio*, apresentando a semiótica sobre WBAN, bem como seus conceitos, características, aplicações, natureza e desafios da WBAN.

2.1 Rede de Área Corporal sem Fio

Com o avanço de pesquisas sobre redes de sensores sem fio (RSSFs) foi possível uma nova geração de redes denominada de Redes de área corporal sem fio (WBANs) com o objetivo de monitoramento de saúde, permitindo assim garantir o monitoramento contínuo dos pacientes através de parâmetros vitais, e conseqüentemente, uma melhor qualidade de cuidados de saúde (Honeine et. al. 2011).

Com isso, a WBAN tornou-se uma rede de equipamentos de computação vestíveis dentro ou ao redor do corpo. Esses componentes físicos são pequenos nós que são providos com sensores biomédicos, detectores de movimento e dispositivos de comunicação sem fio (Cypher et. al. 2006). Esses sensores mostrados na Fig. 3 transmitem dados para o parque computacional do Hospital, dentre eles podemos destacar: Eletrocardiograma (ECG), temperatura, pulso e pressão sanguínea. (Wegmüller et al. 2007)

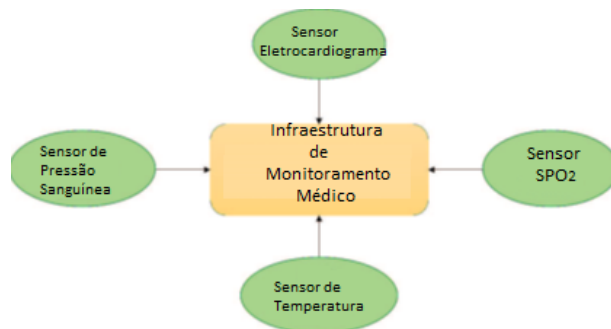


Figura 3. Rede de sensores de aplicações de monitoramento biomédico

(Adaptado da figura presente em Wegmüller et al. 2007)

Um típico exemplo de WBAN é mostrado na Figura 4. A WBAN compreende além de características de redes de sensores em fio, algumas características próprias e, portanto,

necessidades próprias. Uma dessas características, por exemplo, é a utilização de WBANs para leitura de informações fisiológicas sensíveis para cuidados de saúde. Através dessas leituras é possível salvar vidas permitindo detecção precoce de situações anormais por meio de sensores corporais. Além disso, a adoção de WBAN permite reduzir custos financeiros de cuidados de saúde em hospitais com equipamentos de monitoramento. Tais benefícios têm motivados outras áreas, como esportes, militares e entretenimento (Patel e Wang 2010).

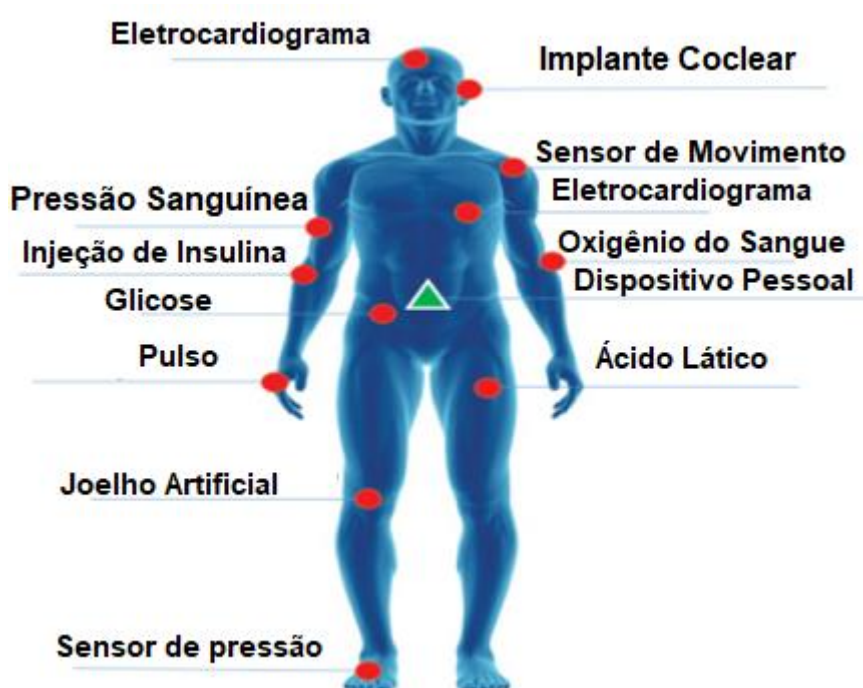


Figura 4. Exemplo típico de WBAN.

(Adaptado da figura presente em Movassaghi et al. 2014)

Existem diversas aplicações de WBANs que dependem do alvo de seu campo de atuação. Cada aplicação ainda é classificada como médica ou não médica, implantada e vestível. A tabela 1 resume os campos de aplicação das WBANs com alguns exemplos para cada domínio.

Tabela 1. Domínios e Aplicações para WBANs

Campos da WBAN	Tipos de Aplicação		Exemplos de Aplicações
Cuidados de Saúde	Médico	Vestível	Eletrocardiograma (ECG) Eletroencefalograma (EEG) Eletromiografia (EMG) Saturação de Oxigênio Periférico (SPO2) Temperatura, Pressão Sangüínea Entrega de Medicamentos
		Implantado	Controle de Diabetes
	Não Médico	Detector de Movimento Autenticação Segura	
Militar e Defesa	Vestível Médico	Avalia a fadiga do soldado Detectar situações potencialmente fatais	
	Não Médico Vestível	Detecção de Fogo, Gás venenoso	
Esportes	Médico Vestível	Batimento Cardíaco, Temperatura, Pressão Sangüínea Sensor de Movimento	
Entretenimento	Não Médico Vestível	Streaming em Tempo Real Streaming de Vídeo por Câmera Streaming de áudio por fone de ouvido	

Dentre os campos de atuação das WBANs, vale destacar os cuidados com a saúde que é um dos campos mais promissor. Sensores implantados e vestíveis são usados para coletar sinais biométricos, continuamente e remotamente (Malik e Singh 2013)(Cavallari et al. 2014).

Além dos sensores, os atuadores ajudam na entrega automática de medicamentos, exemplos dessas aplicações estão os aparelhos auditivos e retinas artificiais (Barakah e Ammad-Uddin 2012)(Malik e Sing 2013).

No campo de cuidados com a saúde, temos diversas aplicações, dentre elas podemos citar a de aplicações médicas. Nessas aplicações os dados podem ser encaminhados por celulares que funciona como um gateway, para um lugar remoto, como um centro de emergência, que pode ser o hospital, casas de repouso ou até residências de pacientes para que

uma ação relevante possa ser tomada (Barakah e Ammad-Uddin 2012)(Malik e Singh 2013)(Movassaghi et al. 2014). As aplicações médicas de WBAN podem ser divididas de acordo com os tipos de sensores que podem ser vestíveis ou implantados.

Os sensores vestíveis são dispositivos que coletam dados e estão adicionados em roupas ou colocado no corpo para monitoramento, por exemplo, de temperatura, de pressão arterial, nível de glicose e administração de medicamento. Porém os sensores implantados são dispositivos também para coletar dados e implantados na pele ou no fluxo sanguíneo.

Sendo a WBAN um tipo especial de redes de sensores sem fio, consequentemente herda muito de seus desafios. No entanto, vários novos desafios caracterizam a WBAN e vários problemas necessitam de soluções. Um dos grandes desafios é obter uma rede confiável e tolerante a falhas, com o mínimo de atraso e rendimento máximo, considerando o consumo de energia. (Latré et al. 2011).

Em relação ao consumo de energia encontrado para as WBANs, essas redes são alimentadas por bateria que são menores que as baterias encontradas em redes de sensores sem fio causando mais restrições no consumo de energia na comunicação (Wu et al. 2010).

A heterogeneidade de dispositivos é também a se destacar, pois os sensores WBANs capturam diferentes tipos de dados, sendo necessário a confiabilidade deles. Por exemplo, os sensores variam em sua taxa de tráfego, dependendo dos dados a serem enviados e do tipo de aplicativo. Para isso os valores da taxa em bits variam entre menos de 1 kbps e 10 Mbps (Cavallari et al. 2014).

Por fim, a confiabilidade é importante mencionar, pois uma WBAN exige um alto grau de confiabilidade, pois afeta diretamente a qualidade do monitoramento do paciente e casos de fatalidade podem existir em situações de risco de vida não detectadas. Os profissionais de saúde necessitam de dados monitorados corretamente. Contudo, essa confiabilidade exigida pela WBAN pode ser medida pela qualidade dos enlaces ou pela eficiência da comunicação de ponta a ponta. Para atender às expectativas do usuário e obter uma rede confiável, existem três características básicas para qualquer tecnologia de rede, serviço programado e protocolo: tolerância a falhas, QoS e segurança (C.N.A.P Staff 2013).

A implementação da qualidade de serviços (QoS) é um dos aspectos importantes de qualquer aplicativo. Atender aos requisitos de QoS nas WBANs é uma tarefa difícil porque

existem grandes limitações e desafios. A QoS na WBAN está se tornando uma área de pesquisa interessante e a criação de protocolos de roteamento baseados em QoS se torna uma questão crucial devido ao contínuo aumento de emergência desse tipo de rede. Há esforços anteriores em protocolos de roteamento baseados em QoS projetados no âmbito de WBANs (Adhikary et al. 2016)(Rezaei et al. 2015)(Movassaghi et al. 2013)(Monowar et al. 2015).

A tolerância a falhas requer previsão de falhas. Primeiro, a possibilidade de ocorrer uma falha precisa ser prevista e uma tentativa de preveni-lo (Raghunath e Rengarajan 2013)(Alrajei e Fu 2014). Se não puder ser evitado, então pelo menos uma garantia deve ser embutida no sistema para permitir que ele opere na presença dessa falha. Este é o segundo nível e requer que o sistema seja ciente de como reagir na presença de falhas, de modo a evitar a falha dos serviços do sistema. Este nível compreende detecção de falhas, isolamento, identificação de falhas e recuperação de falhas (Raghunath e Rengarajan 2013)(Alrajei e Fu 2014).

2.2 Trabalhos Relacionados

Com o objetivo de entender e levantar os diversos problemas de configuração dos nós no formado cluster com ênfase em WBANs, foram analisadas algumas pesquisas relacionadas com o tema deste trabalho, dentre elas: a pesquisa conduzida por (Hiep e Kohno 2014) que propõe nós cluster baseado em WBAN com CSMA/CA para obter a alta eficiência energética com a transmissão na forma de cluster, controlada na camada MAC pelo super quadro, a fim de obter alto rendimento.

Um projeto de um sistema de combate a incêndios baseados em WBAN utilizando uma topologia hierárquica na forma de cluster são pesquisados em (Youssef et al 2015). Quanto aos diferentes problemas de segurança em WBANs é proposto uma solução de criptografia juntamente com o nó principal do cluster (Iqbal et al 2013).

Uma arquitetura de sistema ambulatorial de saúde, incluindo as WBANs estruturadas em forma de cluster, é estudada por (Su e Wang 2014). Porém, não foi encontrado na literatura nenhuma pesquisa relacionada com o dimensionamento do número de WBANs.

2.3 Conclusão

Neste capítulo foram apresentadas os conceitos, características, aplicações, natureza e desafios da WBAN de rede corporal sem fio a partir da revisão bibliográfica. Além disso, foi realizado um levantamento bibliográfico de aplicações WBANs utilizando estruturas do tipo cluster com objetivo de exemplificar essa estrutura no modelo proposto.

Capítulo 3. Proposta de Rede e Análise de Desempenho

Neste capítulo é detalhado um modelo de estrutura para atendimento médico remoto dentro de hospitais, casas de repouso para idosos ou residências de pacientes. A proposta baseia-se no uso de Sistema de Coleta de Dados através de WBANs e nós *sink* utilizando um esquema de acesso Múltiplo por Divisão de Tempo, em inglês, Time Division Multiple Access (TDMA), bem como a formação de um cluster dos nós coletores. Além disso, através deste modelo é possível efetuar o dimensionamento do número de WBANs para que as informações coletadas pelos pacientes possam chegar ao destino em tempo que não comprometa com situação de risco. Para isso, os tempos totais de atraso considerados são de 300 ms, 400 ms e 500 ms. Esse monitoramento permite coletar dados de saúde de pacientes com a finalidade de serem assistidos remotamente e de forma contínua, visando evitar que entrem em situações de risco.

Na Figura 5 é mostrada a configuração da rede proposta para coletar os dados das WBANs. Na parte denominada Sistema de Coleta de Dados, estão as várias WBANs que podem estar espalhadas em várias residências, casas de repouso para idosos e hospitais, e em cada WBAN é providenciado o nó *sink* que tem a função de coletar os dados da WBAN e depois transmitir através de um esquema de acesso ao nó coletor. Todos os sistemas de coleta de dados, assim como os nós coletores da Figura 5 operam com transmissão sem fio, através de rádios (mostrados com enlaces de linhas pontilhadas na figura).

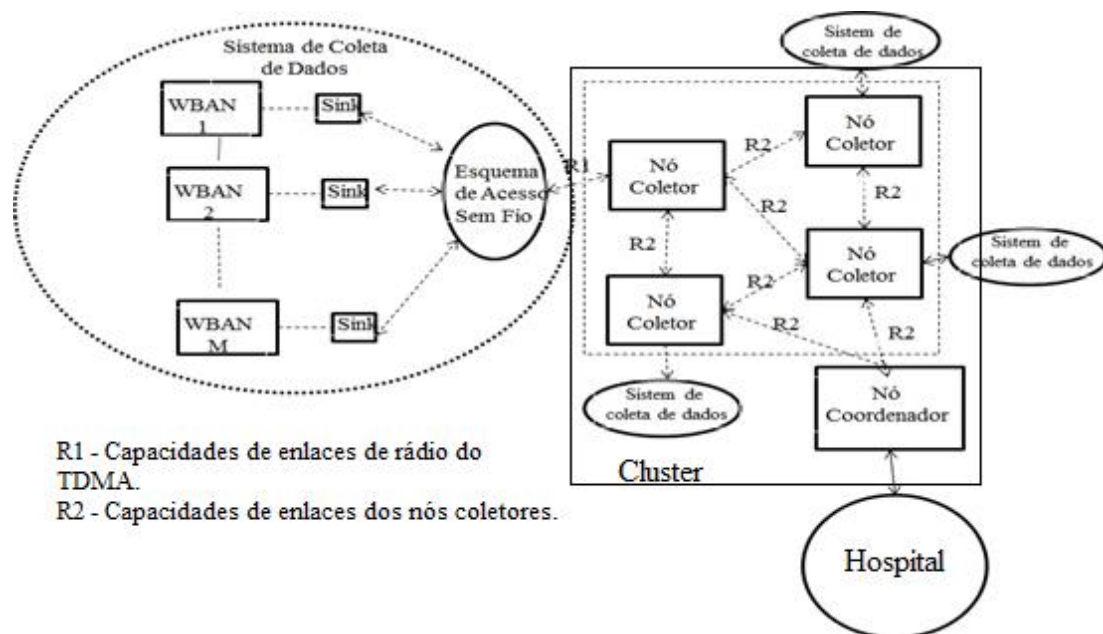


Figura 5. Estrutura de Rede para Coleta de Dados.

O esquema de acesso é utilizado para sincronizar e ordenar as transmissões de dados dos *sinks* para o nó coletor. Os principais esquemas de acesso que podem ser utilizados nesta configuração sem fio são os esquemas de acesso aleatório dos tipos CSMA/CA, CSMA/CD, o acesso *Polling* e o TDMA. Os esquemas de acesso do tipo CSMA (CA, CD, etc), podem introduzir atrasos longos devido às retransmissões e não são adequados para utilizar em rede acima proposta que exige um tempo de atraso baixo. O esquema de acesso *polling* pode ser conveniente, mas pode também ter um atraso relativamente longo dependendo do número de nós sinks. Além disso, cada pacote necessita ser sincronizado entre o nó coletor e os nós sinks. O esquema de acesso TDMA, nesse caso, é o mais conveniente, pois, faz-se uma alocação de canal (slot de tempo) para cada nó sink. Esse canal dedicado, fica disponível sempre que o nó sink queira transmitir, diminuindo dessa forma o atraso de espera. O único inconveniente é que o TDMA necessita sincronização total o tempo todo entre o nó coletor e os nós sinks.

Os nós coletores são organizados em forma de cluster e trocam informações entre si para cooperativamente enviar os dados ao nó coordenador. (A organização em forma

de cluster é interessante, pois permite que toda a estrutura seja levada ao local de atendimento, como no caso do cluster de bombeiros.) Essa cooperação se dá no sentido de descobrir o caminho mais rápido ao nó coordenador, ou um caminho possível, devido a um nó coletor necessitar economizar energia, e assim escolher um caminho que evite aquele nó coletor. O nó coordenador tem conexão direta com a infraestrutura computacional do hospital através do centro de controle que por sua vez tem o objetivo de controlar todos os dados do paciente. Também é possível armazenar esses dados em nuvens através do acesso à Internet.

Na configuração proposta na Figura 5, devido a suposição de utilização de enlaces sem fio que operam com capacidades relativamente baixas e limitadas, é importante dimensionar o número de WBANs em cada nó coletor para que não haja atrasos longos dos pacotes de dados. Esses atrasos longos podem tornar críticos em casos de dados urgentes dos pacientes. Assim, o objetivo principal deste trabalho é dimensionar a quantidade de WBANs, sujeito a restrição de atraso total de transferência próximo ao processamento de tempo real, ou seja, um atraso total menor ou em torno de 500 ms. O atraso médio total de transferência é definido neste trabalho como o atraso de pacote desde a sua chegada ao nó *sink* até ser entregue ao nó coordenador.

3.1 Modelo de Rede para Dimensionamento

Para este trabalho, será adotado o esquema de acesso TDMA e as capacidades de enlaces de rádio do TDMA (R1) e de todos os nós coletores (R2) serão iguais ou as capacidades de enlaces de rádio do TDMA (R1) e de todos os nós coletores (R2) serão diferentes. A seguir veremos as capacidades de enlaces de rádio do TDMA (R1) e de todos os nós coletores (R2) iguais.

O TDMA opera com estrutura de quadros cíclicos e sincronizados, como mostra a Figura 6.



Figura 6. Estrutura de quadros do TDMA.

Cada quadro é dividido em M slots de tempo ou canais em que os pacotes das WBANs são acomodados. Dessa forma, em cada quadro até M pacotes de comprimento fixo das WBANs podem ser transmitidos. Somente um pacote de cada WBAN é transmitido em cada quadro. Portanto, cada *sink* possui um buffer para armazenar os pacotes que não podem ser transmitidos em um quadro.

As seguintes suposições são adotadas. Os pacotes que chegam de cada WBAN para cada *sink* obedecem a uma distribuição de Poisson de taxa λ . O comprimento de pacote é fixo e tem $E\{X\}$ bits. As capacidades de todos os enlaces de transmissão são iguais em R bits/s. Assim, o comprimento do quadro em tempo será igual a $ME\{x\} / R$ s. Quando um *sink* está transmitindo em seu respectivo canal ou time slot, transmitirá a uma taxa de R bits/s, mas sob o ponto de vista de fila, a capacidade de atendimento será somente R / M por *sink*. Supõe-se, também, que cada nó coletor possua um buffer para recepção dos pacotes de dados dos *sinks*.

Com as suposições adotadas, o modelo de fila do sistema de coleta de dados incluindo o buffer do nó coletor para o dimensionamento será aquele mostrado na Figura 7.

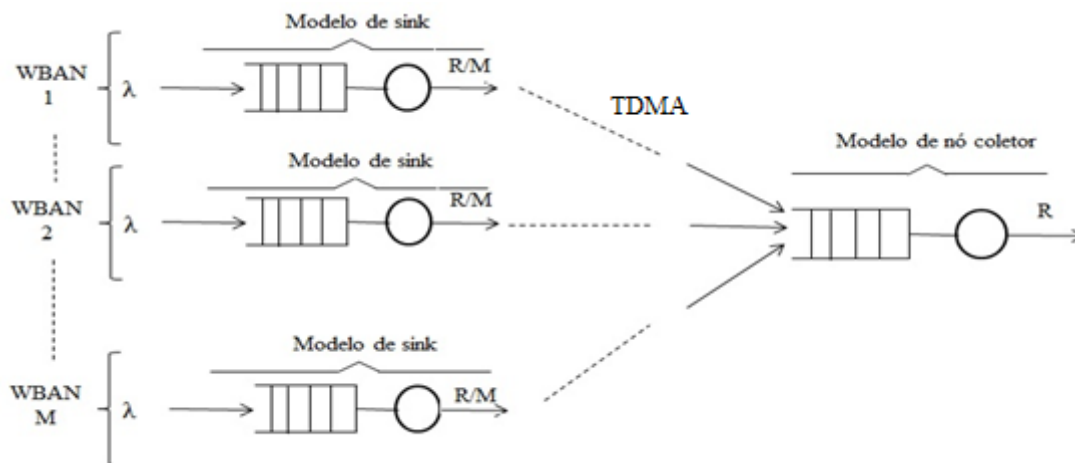


Figura 7. Modelo de Fila do Sistema de Coleta de Dados.

A Figura 7 mostra que em cada nó *sink* chegam os pacotes das WBANs, a uma taxa média de λ pacotes/s, e são transferidos, através do TDMA (representado por linhas pontilhadas), para o nó coletor.

Para o modelo de fila da parte do cluster de nós coletores, pode-se pensar que os pacotes de dados são enviados de nó coletor para o nó coletor até chegar ao nó coordenador. Assim, o caminho dos pacotes de um nó coletor de borda até o nó coordenador pode ser modelado como uma rede de filas conforme mostrado na Figura 8.

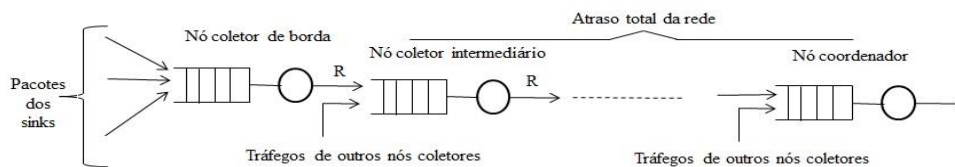


Figura 8. Modelo de Fila do Cluster de Nós Coletores.

O nó coletor que recebe os pacotes dos *sinks* é denominado de nó coletor de borda, pois representa o nó coletor inicial. Os outros nós coletores no caminho até o nó coordenador, são denominados intermediários. Nos nós coletores intermediários chegam outros tráfegos dos nós coletores que seguem o mesmo caminho até o nó coordenador. O total de atrasos de nós intermediários é denominado atraso total da rede.

3.2 Estimação de Atrasos para Dimensionamento

Para o cálculo de atraso de transferência do nó *sink*, T_{sink} , utilizando esquema de acesso TDMA, são considerados três componentes: 1) o tempo de transmissão do pacote, dado por $E\{X\} / R$; 2) o tempo de sincronismo, devido ao pacote chegar em qualquer instante do quadro, necessitando, portanto, uma espera até ser transmitido no canal adequado. Este tempo é dado, considerando distribuição constante, como metade do tempo de quadro, $M.E\{X\} / 2R$; 3) o tempo de espera na fila do nó *sink* com capacidade do enlace de R / M e pacote de tamanho fixo. O modelo de fila, neste caso, é M/D/1, cuja fórmula é dada por (Sadiku e Musa 2013):

$$T_{Qsink} = \frac{SE\{X\}}{2(1-S)R/M}, \text{ e } S = \frac{M\lambda E\{X\}}{R} \quad (1)$$

O atraso de fila no nó coletor pode ser modelado, também, como uma fila M/D/1 com taxa de chegada $M\lambda$ e capacidade R . Neste caso, comparando a fila no *sink*, a capacidade é M vezes maior, mas a taxa de chegadas é, também, M vezes maior. Assim a mesma fórmula da Eq. 1 pode ser utilizada. Portanto, o atraso é dado por:

$$T_{Qcoletor} = \frac{MSE\{X\}}{2(1-S)R}, \text{ e } S = \frac{M\lambda E\{X\}}{R} \quad (2)$$

Para o atraso na rede de fila da Figura 7, denominado atraso total da rede na figura, é difícil estimar, pois depende do número de nós intermediários e do tráfego de outros nós coletores que, por sua vez, são dependentes do tipo de roteamento adotado. Assim, será adotado o critério de porcentagem do total de atraso de transferência que poderá ser gasto nesta rede de fila. Esse atraso será denominado de T_{rede} .

O atraso total de transferência, T_{transf} , será dado por:

$$T_{transf} = \frac{E\{X\}}{R} + \frac{ME\{X\}}{2R} + \frac{MSE\{X\}}{2(1-S)R} + \frac{E\{X\}}{R} + \frac{MSE\{X\}}{2(1-S)R} + T_{rede}. \quad (3)$$

ou

$$T_{transf} - \frac{2E\{X\}}{R} - T_{rede} = \frac{ME\{X\}}{2R} + \frac{MSE\{X\}}{(1-S)R}, \text{ e } S = \frac{M\lambda E\{X\}}{R} \quad (4)$$

Desenvolvendo a Eq. 4 para M como incógnita em função de outros parâmetros, obtém-se uma equação de segundo grau, como mostra a Eq. 5 e 6.

$$M^2 \lambda E\{X\}^2 = M(2\lambda E\{X\}^2 - 2RT_{transf}\lambda E\{X\}) + 2R^2T_{transf} - 2RE\{X\} = 0 \quad (5)$$

$$\lambda E\{X\}^2 M^2 + (2\lambda E\{X\}RK + E\{X\}R)M - 2R^2K = 0,$$

$$e \quad K = T_{transf} - \frac{2E\{X\}}{R} - T_{rede} \quad (6)$$

Para as capacidades de enlaces de rádio do TDMA (R1) e de todos os nós coletores (R2) diferentes, temos o atraso total de transferência T_{transf} como:

$$T_{transf} = \frac{MS1E\{X\}}{2(1-S1)R1} + \frac{E\{X\}}{R1} + \frac{ME\{X\}}{2R1} + \frac{MS2E\{X\}}{2(1-S2)R2} + \frac{E\{X\}}{R2} + T_{rede},$$

$$e \quad S1 = \frac{M\lambda E\{X\}}{R1} ; \quad S2 = \frac{M\lambda E\{X\}}{R2} \quad (7)$$

Desenvolvendo a Eq. 8 para M como incógnita em função de outros parâmetros, obtém-se uma equação de terceiro grau, como mostra a Eq. 8 e 9.

$$T_{transf} - T_{rede} = \frac{E\{X\}}{R1} + \frac{E\{X\}}{R2} + \frac{ME\{X\}}{2R1} + \frac{MS1E\{X\}}{2(1-S1)R1} + \frac{MS2E\{X\}}{2(1-S2)R2} \quad (8)$$

$$M^3 [-(E\{X\})^3 \lambda^2 R_1] + M^2 [(E\{X\})^2 \lambda R_1^2 + 2R_2 \lambda^2 (E\{X\})^3 - 2KR_1 R_2 \lambda^2 (E\{X\})^2 - R_1 R_2 \lambda (E\{X\})^2] +$$

$$M [-2R_2^2 \lambda (E\{X\})^2 + 2KR_1 R_2^2 \lambda E\{X\} - 2R_1 R_2 \lambda (E\{X\})^2 + 2KR_2 R_1^2 \lambda E\{X\} + R_1 R_2^2 E\{X\}]$$

$$+ 2R_1 R_2^2 E\{X\} - 2KR_1^2 R_2^2 = 0 ,$$

$$e \quad K = T_{transf} - \frac{E\{X\}}{R1} - \frac{E\{X\}}{R2} - T_{rede} \quad (9)$$

Para o estudo do comportamento do modelo de rede proposto em relação ao atraso são utilizados dois casos. No primeiro caso, as capacidades de enlaces do esquema de acesso TDMA e nós coletores são iguais. No segundo caso, essas capacidades de enlaces são diferentes.

3.4 Exemplos Numéricos e Resultados

Para exemplos numéricos de dimensionamentos os seguintes valores são adotados. Os diferentes valores de taxa λ utilizados são 0,1, 0,2, 0,3, 0,5 e 1,0 pacotes/s, de cada WBAN. O comprimento de pacote fixo $E\{X\}$ equivalente a 500 bits e as diferentes capacidades de transmissão, R_1 e R_2 , utilizadas são 100 kbps, 250 kbps, 500 kbps, 1 Mbps e 2 Mbps. Esses valores adotados são somente estimativas, pois, não existem ainda estruturas reais em operação. Para o caso da taxa de transmissão R_1 e R_2 , são utilizadas as taxas das redes sem fio existentes como o IEEE 802.15.4, 6LoWPan e Zigbee que variam, entre 100 kbps e 500 kbps. Para o atraso total da rede, T_{rede} , considerou-se 80%, 90% e 95% do atraso total de transferência, T_{transf} , equivalente a 300 ms, 400ms e 500ms.

A Figura 9 mostra a estimativa do número de WBANs quando a Equação 5 e 6 são resolvida numericamente para os valores acima e $T_{rede}/T_{transf} = 0,8$, bem como o atraso total de 300 ms. Como pode ser visto na figura, para maiores taxas médias de chegada de pacotes de cada WBAN, uma menor quantidade de WBANs é permitida. Por exemplo, para $\lambda = 1$ pacotes/s com capacidade do enlace de 100 kbps podem ser acomodadas, no máximo, 17 WBANs. A variação de número de WBANs em função da variação da taxa de entrada, para a capacidade de 100 kbps, não é grande (variação de 17 para 20). Entretanto, observa-se uma maior variação para capacidades maiores; de 47 a 55 WBANs para a capacidade de 250 kbps e de 96 a 114 para 500 kbps.

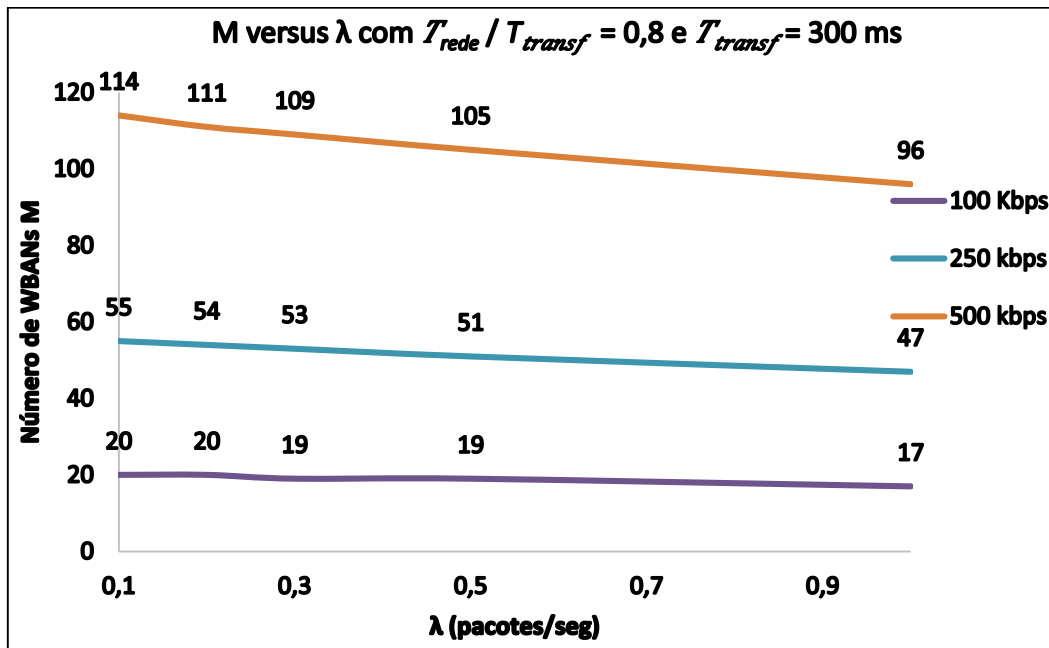


Figura 9. Quantidades de WBANs em função das taxas de entradas para diversas capacidades e $T_{rede} / T_{transf} = 0,8$ para $T_{transf} = 300$ ms.

A Tabela 2 exhibe as quantidades dos números de WBANs para as taxas de pacotes λ equivalentes a 1,0 , 0,5 , 0,3 , 0,2 e 0,1 pacotes/s e estimativas do tempo médio de rede T_{rede} / T_{transf} dos nós coletores organizados em forma de cluster iguais a 80%, 90% e 95%. As capacidades de enlaces de rádio do esquema de acesso TDMA (R_1) são iguais as capacidades de enlaces dos nós coletores (R_2) e o tempo de atraso total é correspondente a 300 ms. Os números de WBANs são resultados da resolução das Equações 5 e 6. Observa-se também na tabela que ao aumentar-se as capacidades de enlaces de 100 Kbps para 250 Kbps ou 500 Kbps, ocorre um aumento significativo na quantidade do número de WBANs para as mesmas taxas λ . Por exemplo, de 17 para 114 WBANs, de 8 para 56 WBANs e 2 para 26 WBANs com T_{rede} / T_{transf} iguais a 0,8, 0,9 e 0,95, respectivamente.

Tabela 2. Número de WBANs Para Tempo Médio de Atraso de 300 ms

λ (pacote/seg)	Capacidades (Kbps)	T_{rede} / T_{transf}		
		0,8	0,9	0,95
1	100	17	8	2
0,5		19	8	2
0,3		19	8	2
0,2		20	8	2
0,1		20	8	2
1	250	47	24	11
0,5		51	25	11
0,3		53	26	11
0,2		54	26	11
0,1		55	26	11
1	500	96	51	25
0,5		105	54	26
0,3		109	55	26
0,2		111	55	26
0,1		114	56	26

Na Figura 10 exibe a estimativa do número de WBANs com $T_{rede} / T_{transf} = 0,8$ e atraso total de 400 ms. Foi observado que ao variar de forma crescente a taxa de λ ocorreram uma diminuição no número de WBANs para as capacidades de enlace. Essa diminuição foi de 29 WBANs para capacidade de enlace de 500 kbps, de 14 WBANs para capacidade de enlace de 250 kbps e de 5 WBANs para capacidade de enlace de 100 kbps.

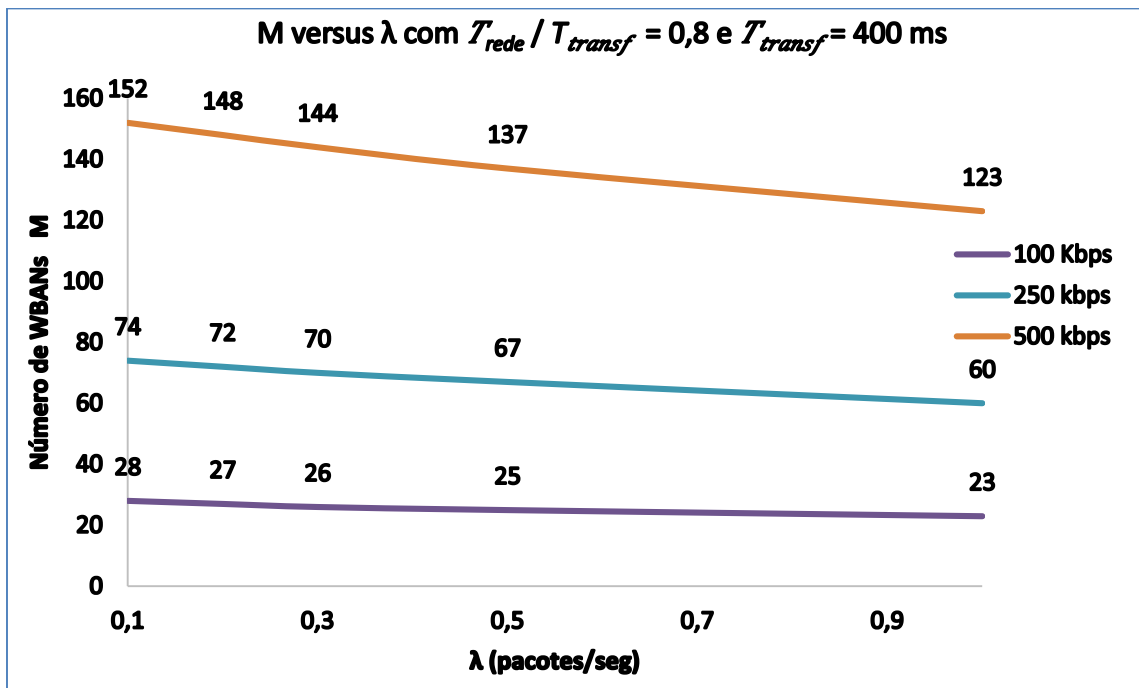


Figura 10. Quantidades de WBANs em função das taxas de entradas para diversas capacidades e $T_{rede} / T_{transf} = 0,8$ para $T_{transf} = 400$ ms.

A Tabela 3 exibe várias taxas de chegada de pacotes λ com valores que variam de 0,1, 0,2 , 0,3 , 0,5 e 1,0 pacotes/s com e capacidades de enlaces de rádio do esquema de acesso TDMA (R1) iguais as capacidades de enlaces dos nós coletores (R2) equivalente a 100 Kbps, 250 Kbps e 500 Kbps e atraso total de 400 ms. Como resultado das Equações 5 e 6 temos a quantidade do número de WBANs para T_{rede} / T_{transf} equivalente a 0,8, 0,9

e 0,95. Podemos notar um pequeno aumento na quantidade do número de WBANs ao aumentar as capacidades de enlace.

Tabela 3. Número de WBANs Para Tempo Médio de Atraso de 400 ms

λ (pacote/seg)	Capacidades (Kbps)	T_{rede} / T_{transf}		
		0,8	0,9	0,95
1	100	23	11	4
0,5		25	12	4
0,3		26	12	4
0,2		27	12	4
0,1		28	12	4
1	250	60	32	16
0,5		67	34	16
0,3		70	35	16
0,2		72	36	16
0,1		74	36	16
1	500	123	67	34
0,5		137	71	35
0,3		144	73	36
0,2		148	74	36
0,1		152	75	36

Na Figura 11 apresenta diminuições do número de WBANs com o aumento das taxa de envio de pacotes e com variações significativas no número de WBANs para as capacidades de 500 kbps, 250 kbps e 100 kbps no valor de 42, 21 e 7 WBANs, respectivamente. Essas variações foram para $T_{rede} / T_{transf} = 0,8$ e atraso total de 500 ms. É importante observar que sempre que ocorre aumento na taxa λ de 0,1 até 1,0 pacotes/s o número de WBANS diminui.

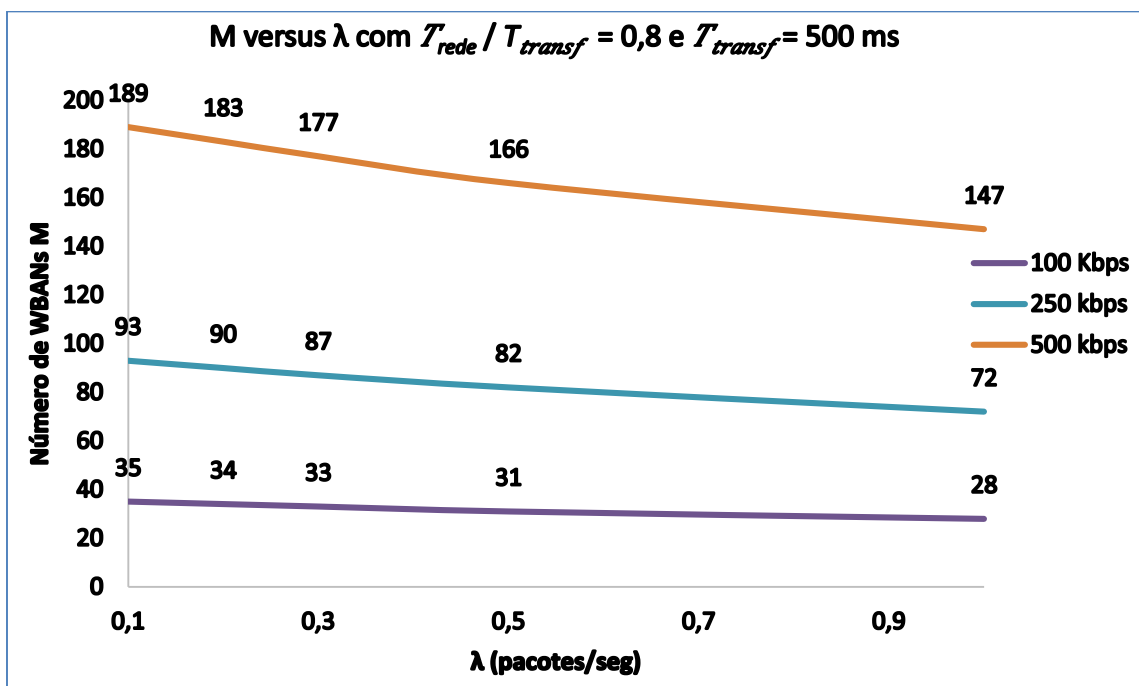


Figura 11. Quantidades de WBANs em função das taxas de entradas para diversas capacidades e $T_{rede} / T_{transf} = 0,8$ para $T_{transf} = 500$ ms.

A Tabela 4 exhibe o atraso total de 500 ms com taxas de chegada de pacotes λ com valores que variam de 0,1, 0,2 , 0,3 , 0,5 e 1,0 pacotes/s com e T_{rede} / T_{transf} equivalente a 0,8, 0,9 e 0,95. As capacidades de enlaces de rádio do esquema de acesso TDMA (R1) são iguais as capacidades de enlaces dos nós coletores (R2) equivalente a 100 Kbps, 250

Kbps e 500 Kbps. Como resultado das Equações 5 e 6 temos a quantidade do número de WBANs. Com o aumento das capacidades de enlace podemos observar também um aumento da quantidade de número de WBANs.

Tabela 4. Número de WBANs Para Tempo Médio de Atraso de 500 ms

λ (pacote/seg)	Capacidades (Kbps)	T_{rede} / T_{transf}		
		0,8	0,9	0,95
1	100	28	14	6
0,5		31	15	6
0,3		33	16	6
0,2		34	16	6
0,1		35	16	6
1	250	72	40	20
0,5		82	42	21
0,3		87	44	21
0,2		90	45	21
0,1		93	46	21
1	500	147	82	43
0,5		166	88	45
0,3		177	91	45
0,2		183	93	46
0,1		189	95	46

A seguir temos estimativas que exibe a quantidade do número de WBANs para diferentes capacidades de enlaces de rádio do esquema de acesso TDMA (R1) e as capacidades de enlaces dos nós coletores (R2) na estrutura para coleta de dados mostrados na Figura 5 e quando a equação 9 é resolvida. Também foi estimado a taxa média de pacotes λ entre 0,1 a 1,0 pacotes/s e com capacidades de $R_1=250$ kbps e $R_2=500$ kbps,

$R_1=500$ kbps e $R_2= 1$ mbps e $R_1=500$ kbps e $R_2= 2$ mbps. Além disso, o comprimento do pacote é fixo de $E\{X\} = 500$ bits e com o atraso total da rede, T_{rede} , considerou-se 80%, 90% e 95% do atraso total de transferência, T_{transf} , equivalente a 500 ms.

Na Figura 12 é mostrado a quantidade de WBANs para capacidades diferentes entre sistema de coletas de dados e os nós organizados na forma de cluster, conforme mostrado na Tabela 5 com atraso total de transferência T_{transf} equivalente a 500 ms, T_{rede} equivalente a 80% e taxa λ variando entre 0,1 a 1,0 pacotes/segundo. Podemos notar, que ocorre pequenas variações entre as capacidades de enlace de $R_1=250$ kbps/ $R_2=500$ kbps e $R_1=500$ kbps/ $R_2=1$ mbps em torno de 1 e 4 WBANs, respectivamente e a capacidade de enlace $R_1=500$ kbps/ $R_2=2$ mbps possui uma variação de 91 a 75 WBANs, sendo que para a taxa de $\lambda = 0,1$ pacotes/s não possui nenhuma quantidade de WBANs.

Tabela 5. Capacidades do Sistema de Coleta de Dados e Cluster

Sistema de Coleta de Dados Capacidade (R1)	Cluster Capacidade (R2)
250 kbps	500 kbps
500 kbps	1 Mbps
500 kbps	2 Mbps

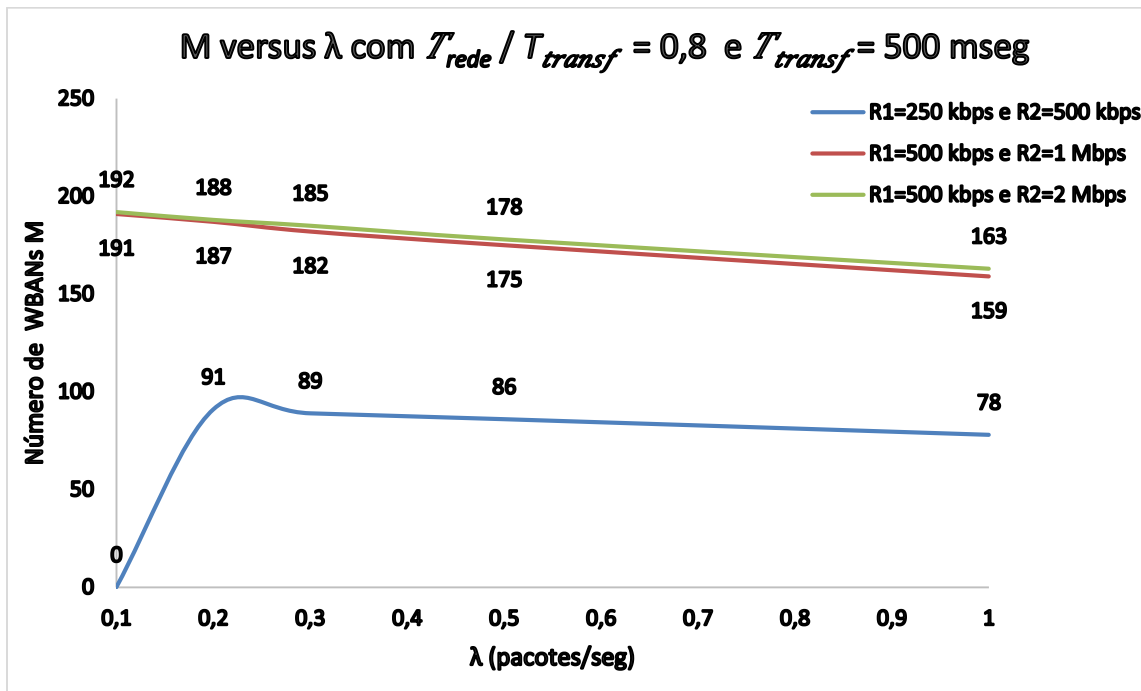


Figura 12. Quantidades de WBANs em função das taxas de entradas para diferentes capacidades e $T_{rede} / T_{transf} = 0,8$ para $T_{transf} = 500$ ms.

A Tabela 6 exhibe as taxas de chegada de pacotes λ com valores que variam de 0,1, 0,2, 0,3, 0,5 e 1,0 pacotes/s com, T_{rede} / T_{transf} equivalente a 0,8, 0,9 e 0,95 para o tempo de atraso total de 500 ms. As capacidades de enlaces de rádio do esquema de acesso TDMA (R1) são diferentes das capacidades de enlaces dos nós coletores (R2) equivalente 250 kbps para R1 e 500 Kbps para R2, 500 Kbps para R1 e 1 Mbps para R2 e 1 Mbps para R1 e 2 Mbps para R2. Como resultado das Equações 8 e 9 temos a quantidade do número de WBANs. É possível observar na tabela que ao aumentar o T_{rede} / T_{transf} do cluster a quantidade do número de WBANs permanecem constantes nas taxas de chegadas de pacotes.

Tabela 6. Número de WBANs Para Tempo Médio de Atraso de 500 ms para capacidades diferentes

Taxa de Chegada de Pacotes λ (pacotes/s)	Capacidades de Enlace (Kbps)		T_{rede} / T_{transf}		
	R1/Kbps	R2/Kbps	80%	90%	95%
1	250	500	78	41	20
0,5			86	43	20
0,3			89	44	20
0,2			91	45	20
0,1			-	-	-
1	500	1000	159	86	43
0,5			175	90	44
0,3			182	92	45
0,2			187	93	45
0,1			191	94	45
1	500	2000	163	87	44
0,5			178	91	45
0,3			185	93	45
0,2			188	94	46
0,1			192	95	46

Capítulo 4. Simulações e Resultados

Neste capítulo será apresentado as curvas das quantidades do número de WBANs e a média de atraso total obtidos através dos cálculos teóricos comparados com os resultados da simulação, conforme modelo proposto na Figura 4. Nessa simulação foram utilizadas estimativas da média de atraso T_{rede} do cluster em 80%, 90% e 95% do tempo de transferência T_{transf} , tempos de transferências, T_{transf} de 300 ms, 400 ms e 500 ms, taxas λ variando de 0,1, 0,2, 0,3, 0,5 e 1,0 pacotes/s, comprimento de pacotes fixo $E\{X\} = 500$ bits e capacidades de enlaces R_1 e R_2 de 250 kbps, 500 kbps, 1 Mbps e 2 Mbps para 100.000 pacotes. Além disso, foram calculados a média aritmética dos atrasos entre o nó sink e o nó coordenador. Para a realização dos cálculos da média aritmética do nó sink, T_{sink} , o qual foi somado o tempo de transmissão do pacote, o tempo de sincronismo e o tempo de espera na fila do nó sink.

Na Figura 13 exhibe os resultados obtidos na simulação comparados com os resultados teóricos. Pode-se observar que os resultados obtidos na simulação possuem uma diferença de 13 ms para a quantidade de 147 WBANs e 2 ms para a quantidade de 187 WBANs com um atraso total de 500 ms e estimativa de 80% do atraso total para o cluster e capacidades R_1 e R_2 iguais e equivalentes a 500 kbps.

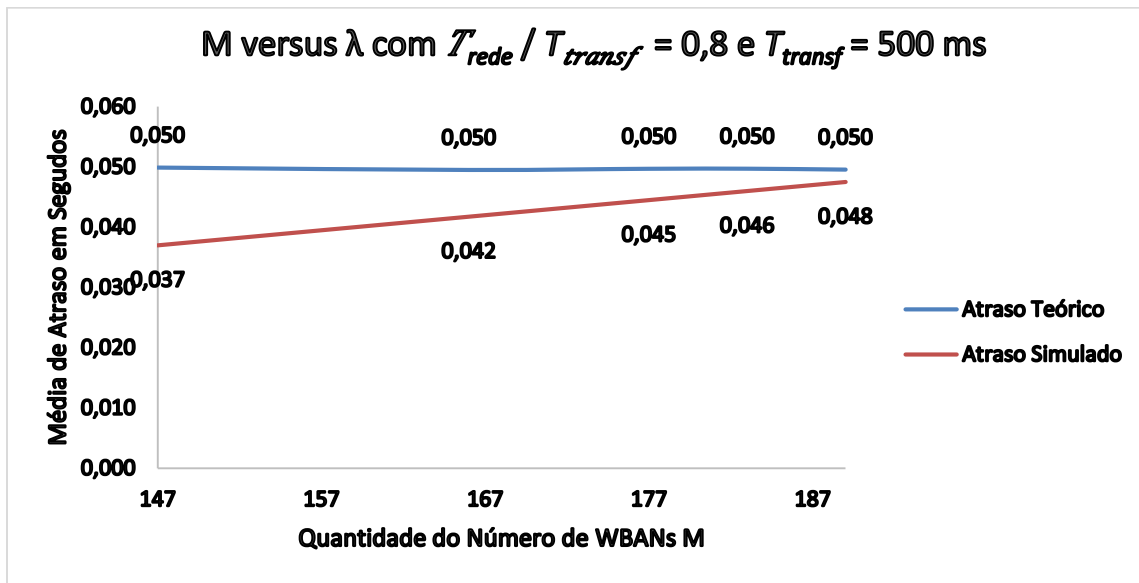


Figura 13. Quantidades de WBANs em função da Média de Atraso para capacidades (R_1 e $R_2 = 500$ kbps) e $T_{rede} / T_{transf} = 0,8$ para $T_{transf} = 500$ ms.

A Tabela 7 exibe dados relativos aos resultados teóricos comparados com a simulação computacional. Esses dados são compostos das taxas de chegada de pacotes λ com valores que variam de 0,1, 0,2, 0,3, 0,5 e 1,0 pacotes/s com, o atraso da rede do cluster T_{rede} / T_{transf} equivalente a 0,8, 0,9 e 0,95 para o tempo de atraso total de 500 ms. Além disso, as capacidades de enlaces de rádio do esquema de acesso TDMA (R_1) são iguais as capacidades de enlaces dos nós coletores (R_2) e equivalem a 500 Kbps. É possível observar na tabela que ao aumentar do atraso médio da rede do cluster T_{rede} / T_{transf} a quantidade do número de WBANs permanecem constantes nas taxas de chegada de pacotes.

Tabela 7. Comparações entre os Resultados Teóricos e Simulados para atraso Médio de 500 ms e capacidades de enlace R_1 e $R_2 = 500$ Kbps

Taxa λ	Quantidade de WBANs	Resultados Teóricos			Resultados Simulados			T_{rede} / T_{transf}
		Atraso no Nó Sink	Atraso no Nó Coordenador	Média de Atraso	Atraso no Nó Sink	Atraso no Nó Coordenador	Média de Atraso	
1,0	147	0,09	0,01267	0,050	0,07	0,0005	0,037	80%
0,5	166	0,09	0,00751	0,050	0,08	0,0005	0,042	
0,3	177	0,09	0,00496	0,050	0,09	0,0005	0,045	
0,2	183	0,10	0,00348	0,050	0,09	0,0005	0,046	
0,1	189	0,10	0,00182	0,050	0,09	0,0005	0,048	
1,0	82	0,0457	0,0037	0,02	0,04	0,0005	0,021	90%
0,5	88	0,0470	0,0020	0,02	0,04	0,0005	0,022	
0,3	91	0,0478	0,0013	0,02	0,05	0,0005	0,023	
0,2	93	0,0484	0,0009	0,02	0,05	0,0005	0,024	
0,1	95	0,0490	0,0005	0,02	0,05	0,0005	0,024	
1,0	43	0,023	0,001	0,01	0,02	0,0005	0,011	95%
0,5	45	0,024	0,001	0,01	0,02	0,0005	0,012	
0,3	45	0,024	0,000	0,01	0,02	0,0005	0,012	
0,2	46	0,024	0,000	0,01	0,02	0,0005	0,012	
0,1	46	0,024	0,000	0,01	0,02	0,0005	0,012	

A Figura 14 mostra os resultados obtidos na simulação comparados com os resultados teóricos.

Pode-se observar que os resultados obtidos na simulação estão com uma diferença insignificante do teórico entre a quantidade do número de WBANs e a média de atraso no Sistema de Coleta de Dados T_{sink} com capacidade $R_1 = 500$ kbps e nó coletor com capacidade $R_2 = 500$ kbps e 20% do $T_{transf} = 400$ ms.

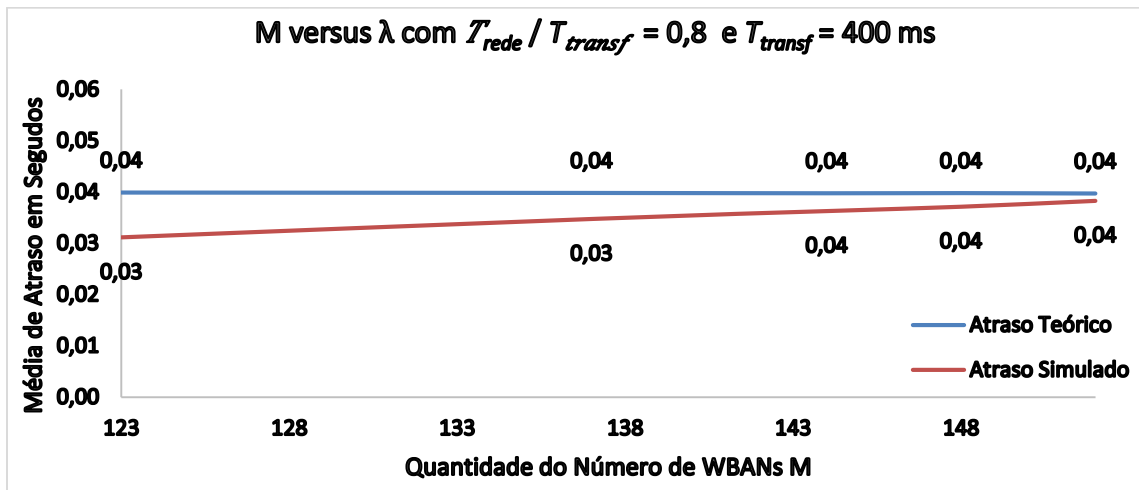


Figura 14. Quantidades de WBANs em função da Média de Atraso para capacidades (R_1 e $R_2 = 500$ kbps) e $T_{rede} / T_{transf} = 0,8$ para $T_{transf} = 400$ ms.

Na Tabela 8, são mostrados os resultados da comparação entre os dados teóricos e de simulação computacional. Nesses resultados podemos observar uma aproximação entre os resultados para as taxas de chegada de pacotes λ com valores que variam de 0,1, 0,2 , 0,3 , 0,5 e 1,0 pacotes/s com, o atraso da rede do cluster T_{rede} / T_{transf} equivalente a 0,8, 0,9 e 0,95 para o tempo de atraso total de 400 ms.

Tabela 8. Comparações entre os Resultados Teóricos e Simulados para atraso Médio de 400 ms e capacidades de enlace R_1 e $R_2 = 500$ Kbps

Taxa λ	Quantidade de WBANs	Resultados Teóricos			Resultados Simulados			T_{rede} / T_{transf}
		Atraso no Nó Sink	Atraso no Nó Coordenador	Média de Atraso	Atraso no Nó Sink	Atraso no Nó Coordenador	Média de Atraso	
1,0	123	0,071	0,00862	0,04	0,06	0,0004616	0,03	80%
0,5	137	0,075	0,00504	0,04	0,07	0,0004739	0,03	
0,3	144	0,076	0,00325	0,04	0,07	0,0004808	0,04	
0,2	148	0,077	0,00226	0,04	0,07	0,0004843	0,04	
0,1	152	0,078	0,00117	0,04	0,08	0,0004883	0,04	
1,0	67	0,037	0,00241	0,02	0,03	0,0004947	0,02	90%
0,5	71	0,038	0,00131	0,02	0,04	0,0004943	0,02	
0,3	73	0,038	0,00082	0,02	0,04	0,0004967	0,02	
0,2	74	0,039	0,00056	0,02	0,04	0,0004991	0,02	
0,1	75	0,039	0,00028	0,02	0,04	0,0004978	0,02	
1,0	34	0,019	0,00060	0,01	0,02	0,0004929	0,01	95%
0,5	35	0,019	0,00031	0,01	0,02	0,0004938	0,01	
0,3	36	0,019	0,00020	0,01	0,02	0,0004951	0,01	
0,2	36	0,019	0,00013	0,01	0,02	0,0004985	0,01	
0,1	36	0,019	0,00007	0,01	0,02	0,0004999	0,01	

Na Figura 15 mostra as curvas entre a quantidade do número de WBANs e a média do atraso total. É possível notar que para as capacidades de enlace R_1 e R_2 equivalentes a 500 kbps, tempo de transferência igual a 300 ms e estimativa do tempo da rede de 80% do atraso total os resultados obtidos na simulação comparados com os resultados teóricos ocorreram variações de 5 ms para 96 WBANs e 1 ms para 114 WBANs.

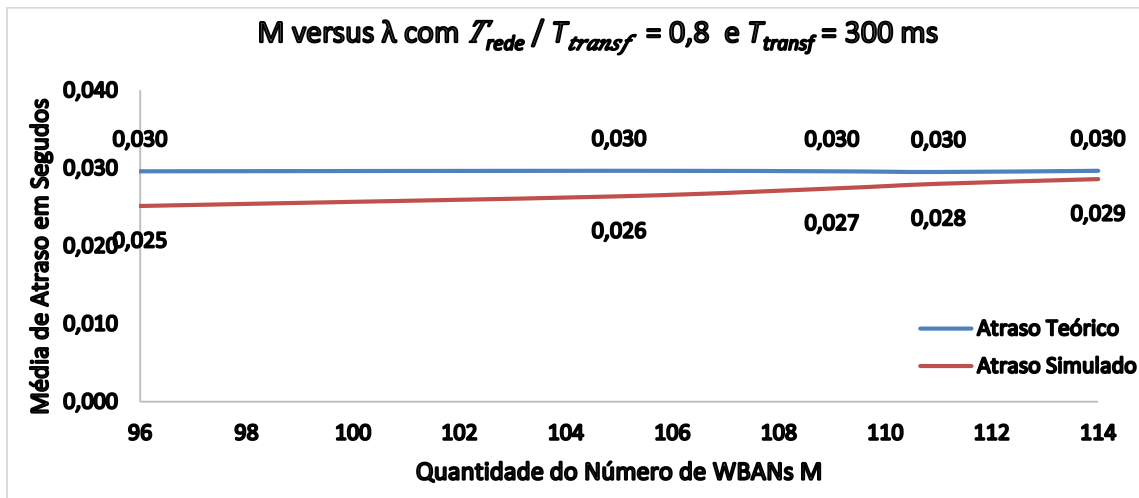


Figura 15. Quantidades de WBANs em função da Média de Atraso para capacidades (R_1 e $R_2 = 500$ kbps) e $T_{rede} / T_{transf} = 0,8$ para $T_{transf} = 300$ ms.

A Tabela 9 exhibe dados relativos aos resultados teóricos comparados com a simulação computacional. Esses dados são compostos das taxas de chegada de pacotes λ com valores que variam de 0,1, 0,2, 0,3, 0,5 e 1,0 pacotes/s com, o atraso da rede do cluster T_{rede} / T_{transf} equivalente a 0,8, 0,9 e 0,95 para o tempo de atraso total de 300 ms. Além disso, as capacidades de enlaces de rádio do esquema de acesso TDMA (R_1) são iguais as capacidades de enlaces dos nós coletores (R_2) e equivalem a 500 Kbps. É possível observar na tabela que ao aumentar do atraso médio da rede do cluster T_{rede} / T_{transf} a quantidade do número de WBANs permanecem constantes nas taxas de chegada de pacotes.

Tabela 9. Comparações entre os Resultados Teóricos e Simulados para atraso Médio de 300 ms e capacidades de enlace R_1 e $R_2 = 500$ Kbps

Taxa λ	Quantidade de WBANs	Resultados Teóricos			Resultados Simulados			T_{rede} / T_{transf}
		Atraso no Nó Sink	Atraso no Nó Coordenador	Média de Atraso	Atraso no Nó Sink	Atraso no Nó Coordenador	Média de Atraso	
1,0	96	0,0541	0,0051	0,0296	0,0498	0,0005	0,025	80%
0,5	105	0,0564	0,0029	0,0297	0,0523	0,0005	0,026	
0,3	109	0,0573	0,0018	0,0296	0,0543	0,0005	0,027	
0,2	111	0,0578	0,0013	0,0295	0,0555	0,0005	0,028	
0,1	114	0,0587	0,0007	0,0297	0,0567	0,0005	0,029	
1,0	51	0,0279	0,0014	0,015	0,0253	0,0004	0,013	90%
0,5	54	0,0287	0,0007	0,015	0,0265	0,0005	0,013	
0,3	55	0,0290	0,0005	0,015	0,0276	0,0005	0,014	
0,2	55	0,0288	0,0003	0,015	0,0273	0,0005	0,014	
0,1	56	0,0292	0,0002	0,015	0,0277	0,0005	0,014	
1,0	34	0,0186	0,0006	0,010	0,0169	0,0005	0,009	95%
0,5	35	0,0188	0,0003	0,010	0,0175	0,0005	0,009	
0,3	36	0,0192	0,0002	0,010	0,0179	0,0005	0,009	
0,2	36	0,0191	0,0001	0,010	0,0179	0,0005	0,009	
0,1	36	0,0191	0,0001	0,010	0,0180	0,0005	0,009	

Na Figura 16 encontra-se uma comparação dos resultados obtidos na simulação comparados com os resultados teóricos. Nessa comparação o atraso média total é de 500 ms com a estimativa do tempo de rede do cluster é de 80% do atraso total e capacidades de enlace R_1 equivalente a 250 kbps e R_2 igual a 500 kbps.

É possível notar que os resultados obtidos na simulação estão com uma diferença de 9 ms, 7 ms, 4 ms e 3 ms para as quantidades de 78, 86, 89 e 91 WBANs. Vale ressaltar que não é possível dimensionar nessas condições o número de WBANs para a taxa λ igual a 0,1 pacotes/s em função que não possui nenhuma quantidade para garantir o atraso médio total de 500 ms.

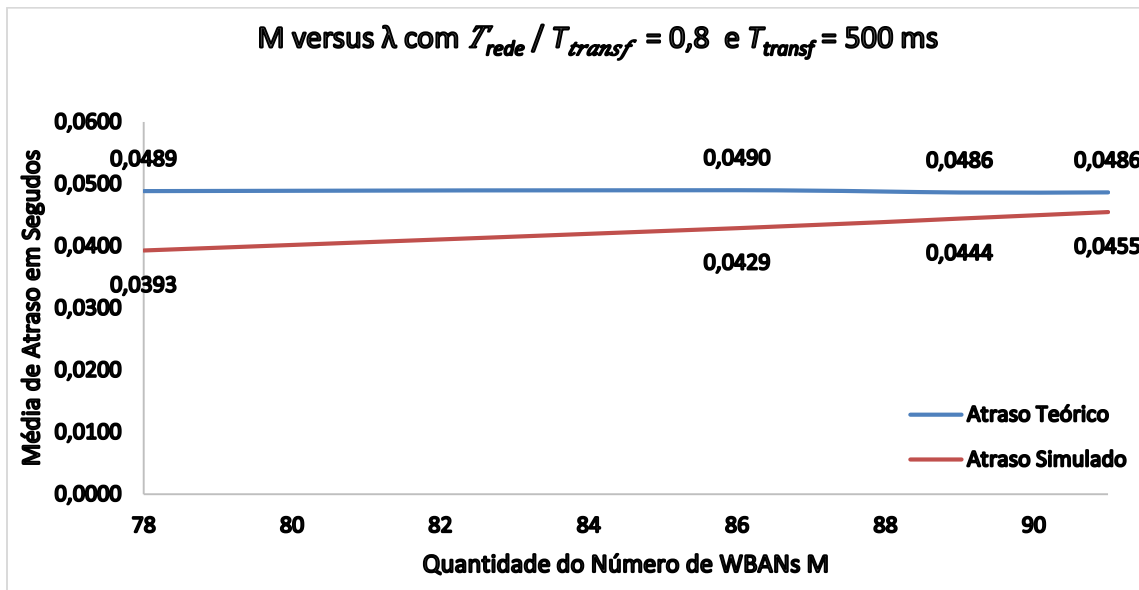


Figura 16. Quantidades de WBANs em função da Média de Atraso para capacidades ($R_1=250$ kbps e $R_2=500$ kbps) e $T_{rede}/T_{transf}=0,8$ para $T_{transf}=500$ ms.

A Tabela 10 mostra dados comparativos entre os resultados teóricos e os da simulação computacional. Esses dados são compostos das taxas de chegada de pacotes λ com valores que variam de 0,1, 0,2, 0,3, 0,5 e 1,0 pacotes/s com, o atraso da rede do cluster T_{rede} / T_{transf} equivalente a 0,8, 0,9 e 0,95 para o tempo de atraso total de 500 ms. Além disso, as capacidades de enlaces de rádio do esquema de acesso TDMA (R_1) são diferentes das capacidades de enlaces dos nós coletores (R_2) e equivalem a 250 Kbps para R_1 e 500 Kbps para R_2 . É possível observar na tabela que dos dados teóricos aproxima-se dos resultados simulados.

Tabela 10. Comparações entre os Resultados Teóricos e Simulados para atraso Médio de 500 ms e capacidades de enlace $R_1=250$ Kbps e $R_2 =500$ Kbps

Taxa λ	Quantidade de WBANs	Resultados Teóricos			Resultados Simulados			T_{rede} / T_{transf}
		Atraso no Nó Sink	Atraso no Nó Coordenador	Média de Atraso	Atraso no Nó Sink	Atraso no Nó Coordenador	Média de Atraso	
1,0	78	0,094	0,003	0,049	0,0781	0,0005	0,0393	80%
0,5	86	0,096	0,002	0,049	0,0853	0,0005	0,0429	
0,3	89	0,096	0,001	0,049	0,0884	0,0005	0,0444	
0,2	91	0,096	0,001	0,049	0,0905	0,0005	0,0455	
0,1	0	0,000	0,000	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	
1,0	41	0,0467	0,0009	0,0238	0,0410	0,0005	0,0207	90%
0,5	43	0,0469	0,0005	0,0237	0,0428	0,0005	0,0216	
0,3	44	0,0472	0,0003	0,0237	0,0438	0,0005	0,0221	
0,2	45	0,0478	0,0002	0,0240	0,0445	0,0005	0,0225	
0,1	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
1,0	20	0,02283	0,00020	0,01152	0,02	0,0005	0,011	95%
0,5	20	0,02241	0,00020	0,01131	0,02	0,0004	0,010	
0,3	20	0,02224	0,00006	0,01115	0,02	0,0004	0,010	
0,2	20	0,02216	0,00004	0,01110	0,02	0,0005	0,010	
0,1	20	0,02208	0,00002	0,01105	0,02	0,0005	0,010	

Na Figura 17 apresenta curvas relacionadas as quantidades de 159 a 194 WBANs em relação ao atraso médio total. Essas curvas são os resultados obtidos na simulação comparados com os resultados teóricos, onde os resultados obtidos na simulação foram menores que os resultados teóricos, porém com uma diferença 6 ms para as quantidades de 159 e 175 WBANs e 4 ms 182, 187 e 191WBANs para um atraso total de 500 ms, estimativa de 80% do atraso total para o cluster e quantidades de enlace R_1 igual a 500 kbps e R_2 equivalente a 1 Mbps.

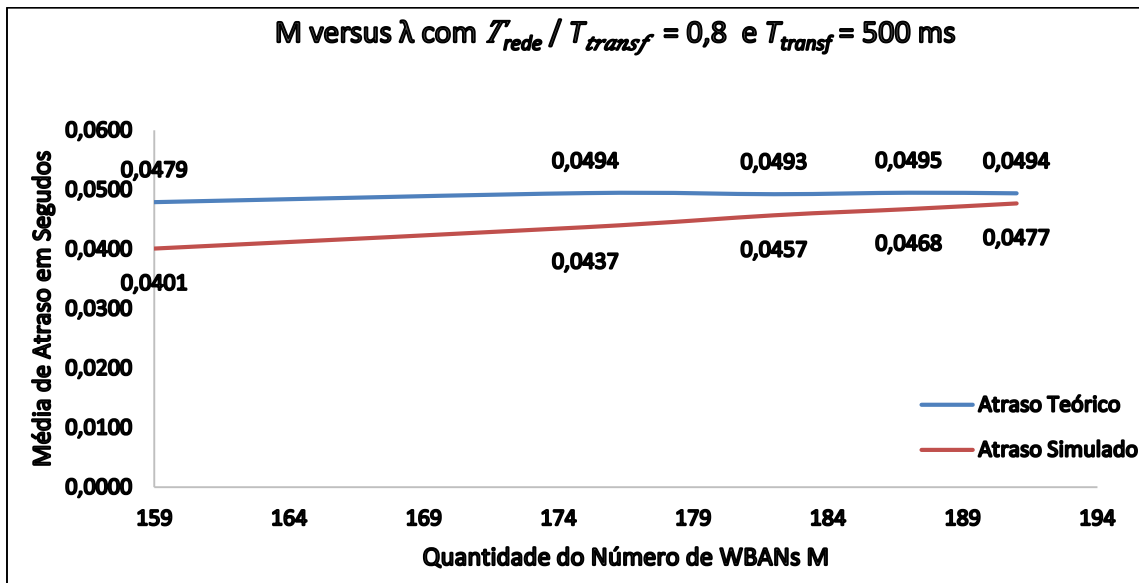


Figura 17. Quantidades de WBANs em função da Média de Atraso para capacidades ($R_1=500$ kbps e $R_2=1$ Mbps) e $T_{rede}/T_{transf}=0,8$ para $T_{transf}=500$ ms.

A Tabela 11 mostra dados comparativos entre os resultados teóricos e os da simulação computacional. Esses dados são compostos das taxas de chegada de pacotes λ com valores que variam de 0,1, 0,2, 0,3, 0,5 e 1,0 pacotes/s com, o atraso da rede do cluster T_{rede} / T_{transf} equivalente a 0,8, 0,9 e 0,95 para o tempo de atraso total de 500 ms. Além disso, as capacidades de enlaces de rádio do esquema de acesso TDMA (R_1) são diferentes das capacidades de enlaces dos nós coletores (R_2) e equivalem a 500 Kbps para R_1 e 1 Mbps para R_2 . É possível observar na tabela que dos dados teóricos aproxima-se dos resultados simulados.

Tabela 11. Comparações entre os Resultados Teóricos e Simulados para atraso Médio de 500 ms e capacidades de enlace $R_1=500$ Kbps e $R_2=1$ Mbps

Taxa λ	Quantidade de WBANS	Resultados Teóricos			Resultados Simulados			T_{rede} / T_{transf}
		Atraso no Nó Sink	Atraso no Nó Coordenador	Média de Atraso	Atraso no Nó Sink	Atraso no Nó Coordenador	Média de Atraso	
1,0	159	0,096	0,000	0,048	0,08000	0,00024	0,04012	80%
0,5	175	0,097	0,002	0,049	0,08720	0,00024	0,04372	
0,3	182	0,097	0,001	0,049	0,09120	0,00024	0,04572	
0,2	187	0,098	0,001	0,050	0,09330	0,00025	0,04677	
0,1	191	0,098	0,000	0,049	0,09520	0,00025	0,04772	
1,0	86	0,0480	0,0010	0,0245	0,0428	0,0002	0,0215	90%
0,5	90	0,0481	0,0001	0,0241	0,0450	0,0002	0,0226	
0,3	92	0,0483	0,0003	0,0243	0,0459	0,0002	0,0231	
0,2	93	0,0484	0,0002	0,0243	0,0465	0,0002	0,0234	
0,1	94	0,0484	0,0001	0,0243	0,0471	0,0002	0,0237	
1,0	43	0,02347	0,00024	0,01185	0,02	0,0002	0,011	95%
0,5	44	0,02349	0,00012	0,01181	0,02	0,0002	0,011	
0,3	45	0,02381	0,00008	0,01194	0,02	0,0002	0,011	
0,2	45	0,02370	0,00005	0,01188	0,02	0,0002	0,011	
0,1	45	0,02360	0,00003	0,01181	0,02	0,0002	0,011	

Na Figura 18 mostra os resultados obtidos na simulação comparados com os resultados teóricos. Nesses resultados temos a estimativa do atraso médio no cluster que equivale a 80% do atraso médio total, com capacidades de enlace $R_1= 500$ kbps e $R_2= 2$ Mbps e tempo de atraso total de 500 ms.

Pode-se observar que os resultados obtidos na simulação estão com uma variação de 9 ms para a quantidade de 163 WBANS, 6 ms para a quantidade de 178 WBANS, 4 ms para a quantidade de 185 WBANS, 2 ms para a quantidade de 188 WBANS e 1 ms para a quantidade de 192 WBANS.

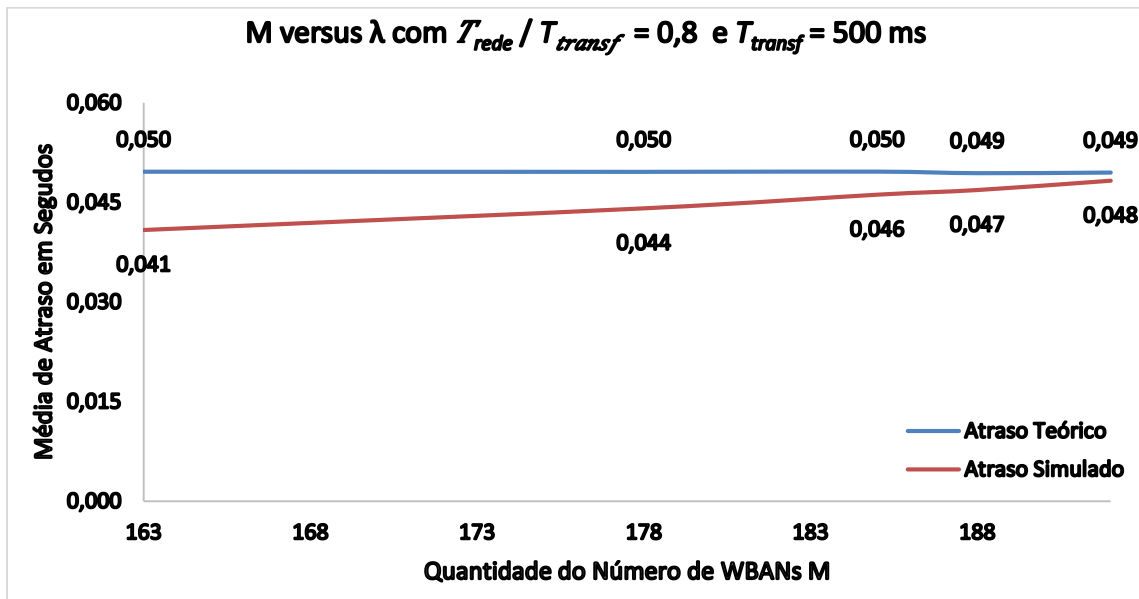


Figura 18. Quantidades de WBANs em função da Média de Atraso para capacidades ($R_1=500$ kbps e $R_2=2$ Mbps) e $T_{rede}/T_{transf}=0,8$ para $T_{transf}=500$ ms.

A Tabela 12 mostra dados comparativos entre os resultados teóricos e os da simulação computacional. Esses dados são compostos das taxas de chegada de pacotes λ com valores que variam de 0,1, 0,2, 0,3, 0,5 e 1,0 pacotes/s com, o atraso da rede do cluster T_{rede}/T_{transf} equivalente a 0,8, 0,9 e 0,95 para o tempo de atraso total de 500 ms. Além disso, as capacidades de enlaces de rádio do esquema de acesso TDMA (R_1) são diferentes das capacidades de enlaces dos nós coletores (R_2) e equivalem a 500 Kbps para R_1 e 2 Mbps para R_2 . É possível observar na tabela que dos dados teóricos aproxima-se dos resultados simulados.

Tabela 12. Comparações entre os Resultados Teóricos e Simulados para atraso Médio de 500 ms e capacidades de enlace $R_1=500$ Kbps e $R_2=2$ Mbps

Taxa λ	Quantidade de WBANS	Resultados Teóricos			Resultados Simulados			T_{rede} / T_{transf}
		Atraso no Nó Sink	Atraso no Nó Coordenador	Média de Atraso	Atraso no Nó Sink	Atraso no Nó Coordenador	Média de Atraso	
1,0	163	0,0984	0,0009	0,0496	0,081600	0,000121	0,040861	80%
0,5	178	0,0987	0,0005	0,0496	0,088100	0,000122	0,044111	
0,3	185	0,0989	0,0003	0,0496	0,092200	0,000123	0,046161	
0,2	188	0,0986	0,0002	0,0494	0,093600	0,000123	0,046862	
0,1	192	0,0989	0,0001	0,0495	0,096400	0,000124	0,048262	
1,0	87	0,048600	0,000242	0,024421	0,043100	0,000119	0,021610	90%
0,5	91	0,048669	0,000131	0,024400	0,045400	0,000121	0,022760	
0,3	93	0,048835	0,000082	0,024458	0,046800	0,000122	0,023461	
0,2	94	0,048901	0,000055	0,024478	0,046800	0,000123	0,023461	
0,1	95	0,048956	0,000028	0,024492	0,047600	0,000124	0,023862	
1,0	44	0,024013	0,000061	0,012037	0,022100	0,000117	0,011109	95%
0,5	45	0,024018	0,000032	0,012025	0,022500	0,000120	0,011310	
0,3	45	0,023808	0,000019	0,011913	0,022500	0,000121	0,011310	
0,2	46	0,024214	0,000013	0,012113	0,023200	0,000122	0,011661	
0,1	46	0,024106	0,000007	0,012056	0,023100	0,000123	0,011611	

Neste capítulo foram apresentadas curvas das quantidades do número de WBANS e a média de atraso total obtido através dos cálculos teóricos comparados com os resultados da simulação, conforme modelo proposto. Na simulação foram utilizadas estimativas da média de atraso T_{rede} do cluster em 80%, 90% e 95% do tempo de transferência T_{transf} com 300 ms, 400 ms e 500 ms e taxas λ variando com valores de 0,1 ,0,2 , 0,3 , 0,5 e 1,0 pacotes/s, bem como comprimento de pacotes fixo $E\{X\}$ equivalente a 500 bits e capacidades de enlaces R_1 e R_2 de 250 kbps, 500 kbps, 1 Mbps e 2 Mbps para 100.000 pacotes. Finalmente, foram calculados a média aritmética dos atrasos entre o nó sink e nó coordenador.

Capítulo 5. Conclusões e Trabalhos Futuros

Uma estrutura para atendimento médico remoto dentro de hospitais, casas de repouso de idosos ou residência de pacientes foi proposta, bem como a utilização de uma técnica de dimensionamento do número de WBANs utilizando uma estrutura do tipo cluster foi analisada nessa dissertação. Essa estrutura baseou-se no uso de um sistema de coleta de dados através de WBANs e nós sink utilizando um esquema de acesso múltiplo por divisão de tempo, assim como a formação de um cluster de nós coletores até que dados fossem transferidos ao nó coordenador, que por sua vez tem uma conexão física ou pela internet com o hospital.

Nesse modelo de rede foi possível efetuar o dimensionamento do número de WBANs para que as informações coletadas pelos pacientes nos hospitais ou casas de repouso ou nas residências pudessem ser transmitidas e com isso chegasse ao destino final em tempo real. Diante disso, foram utilizados o tempo total médio de atraso entre 300 ms e 500 ms visando evitar que entrem em situações de risco.

Os principais pontos da técnica de dimensionamento foram apontados e detalhados, a fim de descrever seu funcionamento. Para isso, foi necessário que o sistema de coleta de dados formado pelos nós sink fossem sincronizados e ordenados até que fosse transferido aos nós coletores. Além disso, foi necessário estimar o tempo médio de atraso no cluster, formado pelos nós coletores, em 80%, 90% e 95% do tempo médio de atraso da transferência.

Vários cálculos foram realizados utilizando a teoria de filas para dimensionar o número de WBANs e assim garantir o total médio de atraso

proposto produzindo os resultados do modelo teórico. Nesses cálculos foram levados em consideração diversos fatores, porém podemos destacar: as capacidades de enlace iguais e diferentes entre o sistema de coleta de dados e a estrutura do tipo cluster.

No modelo de simulação computacional foi possível comparar os resultados obtidos com os dados do modelo teórico que auxiliou na validação. Nessa comparação foi possível observar que um fator importante é que as capacidades dos enlaces, na estrutura proposta, são muito importantes na definição dos números de WBANs, bem como um outro fator bastante importante na definição dos números de WBANs é a relação T_{rede} / T_{transf} . Esta relação indica que quanto maior for o atraso no cluster de nós coletores, menor será o número de WBANs. Pode-se concluir, também, que nesta proposta de dimensionamento, o cluster de nós coletores deve operar cooperativamente para diminuir o total de atraso.

Como continuação desta dissertação, algumas idéias para trabalhos futuros serão apresentados. A idéia consiste em propor utilizar nessa estrutura de rede a técnica de Polling com variações, onde esse assunto é alvo de muitas pesquisas por parte de pesquisadores, revelando-se um assunto muito interessante e relevante para estrutura de rede proposta aqui detalhada. Além dos estudos teóricos, novos resultados obtidos através de simulação computacional podem ser gerados, permitindo assim novas oportunidades para futuras dissertações.

Artigos Publicados

Silva Robhyson Denys and Motoyama Shusaburo. 2017. Dimensioning of WBANs number for cluster-type network structure. 2017 IEEE 9th Latin-American Conference on Communications (LATINCOM). DOI: 10.1109/LATINCOM.2017.8240157.

Silva Robhyson Denys and Motoyama Shusaburo. 2017. Dimensionamento do Número de Redes Corporais Sem Fio (WBAN's) para Estrutura de Rede do Tipo Cluster. XIII Workshop de Computação da FACCAMP – WCF'2017.

Referências

- Ian F. Akyildiz, Weilian Su, Yogesh Sankarasubramaniam, and Erdal Cayirci. 2002. A survey on sensor networks. *IEEE Communications Magazine* 40, 8 (2002), 102–114. DOI:10.1109/MCOM.2002.1024422.
- Leo Selavo, Anthony Wood, Qing Cao, Tamim Sookoor, Hengchang Liu, Aravind Srinivasan, and Yafeng Wu. 2007. LUSTER: Wireless sensor network for environmental research. In *Proceedings of the 5th International Conference on Embedded Networked Sensor Systems*. ACM, 103–116. DOI:10.1145/1322263.1322274.
- Horacio Antonio Braga, Fernandes De Oliveira, Azzedine Boukerche, Eduardo Freire Nakamura, and Antonio Alfredo Ferreira Loureiro. 2009. An efficient directed localization recursion protocol for wireless sensor networks. *IEEE Transactions on Computers* 58, 5, (2009), 677–691. DOI:10.1109/TC.2008.221.
- Samaneh Movassaghi, Mehran Abolhasan, Justin Lipman, David Smith, and Abbas Jamalipour. 2014. Wireless body area networks: A survey. *IEEE Communications Surveys and Tutorials* 16, 3, (2014), 1658–1686. DOI:10.1109/SURV.2013.121313.00064
- Samaneh Movassaghi, Mehran Abolhasan, and Justin Lipman. 2013. A review of routing protocols in wireless body area networks'. *Journal of Network and Computer Applications* 8, 3, (March 2013), 559–575.10.4304/jnw.8.3.
- Chris Otto, Aleksandar Milenkovic, Corey Sanders, and Emil Jovanov. 2006. System architecture of a wireless body area sensor network for ubiquitous health monitoring. *Journal of Mobile Multimedia* 1, 4, (2006), 307–326.
- Latré B, Braem B, Moerman I, Blondia C, Demeester P (2011) A survey on wireless body area networks. *Wirel Netw* 17(1):1–18. DOI: 10.1007/s11276-010-0252-4.
- Deena M. Barakah and Muhammad Ammad-uddin. 2012. A survey of challenges and applications of wireless body area network (WBAN) and role of a virtual doctor server in existing architecture. In *Proceedings of the 3rd International Conference on*

- Intelligent Systems Modelling and Simulation. IEEE, 214–219. DOI:10.1109/ISMS.2012.108.
- Garth V. Crosby, Tirthankar Ghosh, Renita Murimi, and Craig A. Chin. 2012. Wireless body area networks for healthcare: A survey. *International Journal of Ad Hoc, Sensor and Ubiquitous Computing (IJASUC)* 3, 3 (2012), 1–19. DOI:10.5121/ijasuc.2012.3301.
- Sana Ullah, Henry Higgins, Bart Braem, Benoît Latre, Chris Blondia, Ingrid Moerman, Shahnaz Saleem, Ziaur Rahman, and Kyung Sup Kwak. 2012. A comprehensive survey of wireless body area networks. *Journal of Medical Systems* 36, 3, (2012), 1065–1094. DOI:10.1007/s10916-010-9571-3
- Riccardo Cavallari, Flavia Martelli, Ramona Rosini, Chiara Buratti, and Roberto Verdone. 2014. A survey on wireless body area networks: technologies and design challenges. *IEEE Communications Surveys and Tutorials* 16, 3 (2014), 1635–1657. DOI:10.1109/SURV.2014.012214.00007.
- Thaier Hayajneh, Ghada Almashaqbeh, Sana Ullah, and Athanasios V. Vasilakos. 2014. A survey of wireless technologies coexistence in WBAN: Analysis and open research issues. *Wireless Networks* 20, 8 (2014), 2165–2199.
- TG6. 2012. IEEE standard for local and metropolitan area networks: Part 15.6: Wireless body area networks, 802.15.6-2012. Retrieved January 31, 2016 from <https://standards.ieee.org/findstds/standard/802.15.6-2012.html>.
- Arunanshu Mahapatro and Pabitra Mohan khilar. 2011. Online fault detection and recovery in body sensor networks. In *Proceedings of the World Congress on Information and Communication Technologies (WICT)*. IEEE, 407–412. DOI:10.1109/WICT.2011.6141280.
- Zhao, W., Wang, C., Yorie, N. 2011. Medical application on internet of things. *Communication Technology and Application (ICCTA 2011)*, IET International Conference, pp 660 – 665.

Rohokale, V., Prasad, N., Prasad, R. 2011. A cooperative Internet of Things (IoT) for rural healthcare monitoring and control. *Wireless Communication, Vehicular Technology, Information Theory and Aerospace & Electronic Systems Technology (Wireless VITAE)*. 2nd International Conference, pp 1 - 6.

<http://www.ibge.gov.br> acessado em 02/04/2018.

Serafim, E. and Motoyama, S. (2014). “A Network Structure for Medical Assistance in Rural and Urban Using IoT Technology”. The 2014 International Conference on Wireless Networks, (ICWN’2014), Las Vegas, Nevada, USA.

P. Honeine, F. Mourad, M. Kallas, H. Snoussi, H. Amoud, and C. Francis, “Wireless sensor networks in biomedical: Body area networks,” in *Systems, Signal Processing and their Applications (WOSSPA)*, 2011 7th International Workshop on, May 2011, pp. 388–391.

D. Cypher, N. Chevrollier, N. Montavont, and N. Golmie, “Prevailing over wires in healthcare environments: benefits and challenges,” *Communications Magazine, IEEE*, vol. 44, no. 4, pp. 56–63, April 2006.

M. S. Wegmüller et al., “Intra-body communication for biomedical sensor networks,” Ph.D. dissertation, Diss., Eidgenössische Technische Hochschule ETH Zürich, Nr. 17323, 2007, 2007.

Maulin Patel and Jianfeng Wang. 2010. Applications, challenges, and prospective in emerging body area networking technologies. *IEEE Wireless Communications Magazine* 17, 1, (2010), 80–88. DOI:10.1109/MWC.2010.5416354.

Bhavneesh Malik and V. R. Singh. 2013. A survey of research in WBAN for biomedical and scientific applications. *Health and Technology* 3, 3 (2013), 227–235. DOI:10.1007/s12553-013-0056-5.

Benoît Latré, Bart Braem, Ingrid Moerman, Chris Blondia, and Piet Demeester. 2011. A survey on wireless body area networks. *Wireless Networks* 17, 1 (2011), 1–18. DOI:10.1007/s11276-010-0252-4.

- Guowei Wu, Jiankang Ren, Feng Xia, and Zichuan Xu. 2010. An adaptive fault-tolerant communication scheme for body sensor networks. *Sensors* 10, 11 (2010), 9590–9608. DOI:10.3390/s101109590.
- C. N. A. P. Staff. 2013. *Network Basics Companion Guide*. Cisco Press.
- <http://www.ieee802.org/>, Ieee 802.15 working group for wpan, 2012.
- Adhikary, S., Choudhury, S., and Chattopadhyay, A. 2016. A new routing protocol for WBAN to enhance energy consumption and network lifetime. *International Conference on Distributed Computing and Networking*.
- Rezaei, F., Hempel, M., and Sharif., H. 2015. A Survey of Recent Trends in Wireless Communication Standards, Routing Protocols, and Energy Harvesting Techniques in E-Health Applications. *International Journal of E-Health and Medical Communications*, Vol.6, Num. 1.
- Movassaghi, S., Abolhasan, M., and Lipman, J. 2013. A Review of Routing Protocols in Wireless Body Area Networks. *Journal of Networks*, Vol. 8, Num. 3.
- Monowar, M. M., and Bajaber, F. 2015. On Designing Thermal-Aware Localized QoS Routing Protocol for in-vivo Sensor Nodes in Wireless Body Area Networks. *Sensors*, Vol. 15, Num. 6.
- K. M. Karthick Raghunath and N. Rengarajan. 2013. Investigation of faults, errors and failures in wireless sensor network: A systematical survey. *International Journal of Advanced Computer Research* 3, 3, (2013), 151.
- Nancy Alrajei and Huirong Fu. 2014. A survey on fault tolerance in wireless sensor networks. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Sensor Technologies and Applications, 2009 (SENSORCOMM'09)*. 366–371.
- Hiep, Pham Thanh; Kohno, Ryuji 2014. Control superframe for high throughput of cluster-based WBAN with CSMA/CA. *Personal, Indoor, and Mobile Radio Communication (PIMRC), 2014 IEEE 25th Annual International Symposium on*. DOI: 10.1109/PIMRC.2014.7136336.

Youssef, Soumaya B. H.; Rekhis, Slim; Boudriga, Noureddine 2015. Design and analysis of a WBAN-based system for firefighters. Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC), 2015 International. DOI: 10.1109/IWCMC.2015.7289139.

Iqbal, Jawaaid; Nizamuddin; Amin, Noor UI. Authenticated key agreement and cluster head selection for Wireless Body Area Networks. Information Assurance (NCIA), 2013 2nd National Conference on. DOI: 10.1109/NCIA.2013.6725334.

Su, Haoru; Wang, Zhiliang 2014. Distributed Access Scheme for body area networks. Sensing Technology (ICST), 2013 Seventh International Conference on. DOI: 10.1109/ICSensT.2013.6727772.

Mukhopadhyay, Subhas Chandra; Leung, Henry. Advances in Wireless Sensors and Sensor Networks, Springer, 2010. DOI 10.1007/978-3-642-12707-6.

Sadiku, Matthew N. O; Musa, Sarhan M. Performance Analysis of Computer Networks, Springer, 2013. DOI 10.1007/978-3-319-01646-7.

Apêndice A – Detalhes do Software Desenvolvido

Neste apêndice será apresentado de forma sintética o programa desenvolvido para a obtenção de dados simulados para esse projeto de pesquisa.

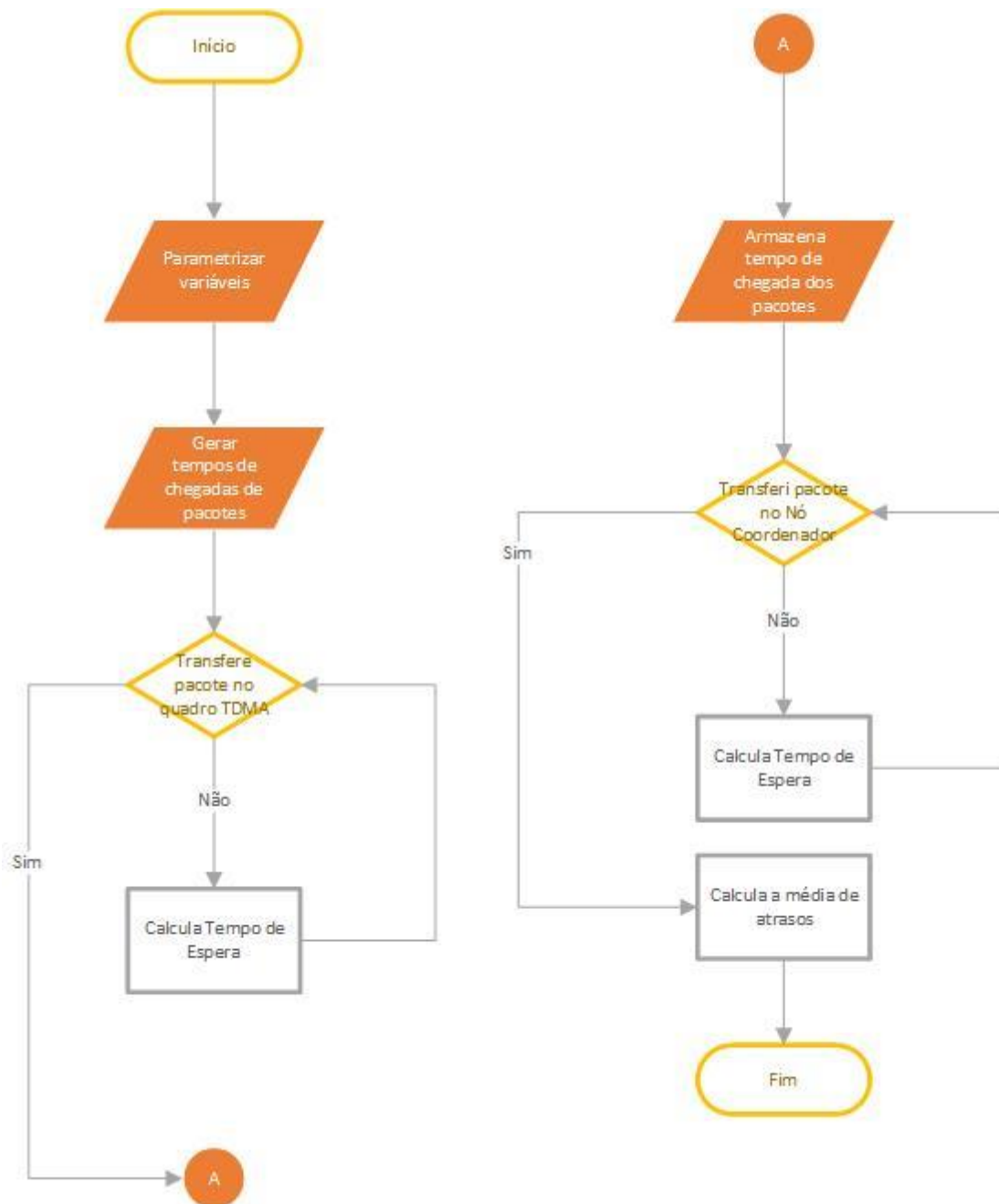
O programa foi desenvolvido em linguagem de programação Java, utilizando a interface de programação Eclipse Neon.³

Para uma melhor compreensão do código fonte, podemos visualizar o funcionamento do código fonte através do algoritmo e fluxograma:

Algoritmo

1. Parametrização de variáveis
2. Criação das Matrizes
3. A Matriz armazena os tempos de chegada dos pacotes de cada nó sink
4. Verifica o tempo de chegadas dos pacotes de cada sink com o tempo de cada canal do quadro TDMA efetuando a sincronização.
5. Calcula o tempo de espera de cada pacote caso não seja transferido no quadro TDMA e o transferi em seus respectivos canais do quadro TDMA.
6. Transferi o pacote para o nó coordenador e armazena na matriz o tempo de chegada
7. Calcula a média aritmética dos atrasos do nó sink e nó coordenador
8. Armazena na matriz a média e mostra os resultados.

Fluxograma



Nesse trecho de código é realizado o cálculo do tempo de chegada dos pacotes e armazenado em uma matriz chamada Time. Posteriormente é executado o sincronismo no esquema de acesso TDMA e registrado os tempos de chegada no nó coordenador na Matriz ChegadaCoordenador.

```
for ( int i = 0 ; i<numeroDeSinks; i++){
    for (int j = 0; j < pacotes; j++) {
        x = -Math.Log(Math.random()) / lambda;
time[i][j]=x;
        fullTime += x;
        Novotempo += time[i][j];
        while (Novotempo > tempoEspera){
            tempoEspera += deltaTempo*numeroDeSinks;
        }
        atraso = tempoEspera - Novotempo;
        TempoAtraso[i][j]=atraso;
        ChegadaCoordenador[i][j]=tempoEspera;
        novodeltaTempo += deltaTempo;
        tempoEspera=novodeltaTempo;
        fullTime=0.0;
        Novotempo=0.0;
    }
}
```

Nesse outro trecho de código é realizado o cálculo da média do atraso do nó sink e nó coordenador ao ser transmitido para o Cluster. Esses resultados serão analisados e comparados com os dados teóricos obtidos para as diversas capacidades e variações de taxa λ .

```
tempTransmissao = comprimentoCoord / capacCanalCoord;
System.out.println("Comprimento do Pacote: "+ comprimentoCoord+"
bits");
System.out.println("Tempo de Transmissão:"+tempTransmissao);
System.out.println("Capacidade do Canal:"+capacCanalCoord+" bits
por segundos");
System.out.println("Número de Sinks:"+numeroDeSinks);
System.out.println("Lambda:"+lambdaCoord+" pacote(s) por
segundo");
System.out.println("Número de pacotes:"+pacotes);
```

```

novodeltaTempo=0;
tempoEsperaCoord = tempTransmissao;
System.out.println("Transferindo.....");
for ( int i=0;i<numeroDeSinks*pacotes;i++){
    novodeltaTempo += vet[i];
while (novodeltaTempo > tempoEsperaCoord ){
    tempoEsperaCoord += tempTransmissao;
    }
    atraso = tempoEsperaCoord - novodeltaTempo;
    atrasoCoord[i]=atraso;}
    somaAtrasos=0;
    System.out.println("Calculando atraso.....");
    for ( int i=0;i<numeroDeSinks*pacotes;i++){
        somaAtrasos += atrasoCoord[i];  }
    MediaGeralCoord = somaAtrasos/(numeroDeSinks*pacotes);
System.out.println("Média Geral Coordenador"+MediaGeralCoord);
System.out.println("Média Geral de Atraso Sink:"+MediaGeral);
    double media = 0;
    media = (MediaGeral + MediaGeralCoord) / 2;
    System.out.println("Média Geral:"+media);

}}

```

O projeto com os códigos fonte pode ser encontrado no endereço:

<https://drive.google.com/drive/folders/1lat80YU4mmGNTFBMUa65cfYD57VZDCyT?usp=sharing>

Anexo I – Premiação de Publicação

1. Prêmio recebido no WCF 2017

Premiação recebida como melhor artigo da XIII Workshop de Computação da FACCAMP – WCF'2017 sob o título “Dimensionamento do Número de Redes Corporais Sem Fio (WBAN's) para Estrutura de Rede do Tipo Cluster” no período de 21-22 de setembro de 2018 em Campo Limpo Paulista, São Paulo.

1.1 Comprovante de Premiação

