

# Dimensionamento do Número de Redes Corporais Sem Fio (WBAN's) para Estrutura de Rede do Tipo Cluster

Robhyson Denys R. da Silva, Shusaburo Motoyama

Programa de Mestrado em Ciência da Computação

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

denys.robhyson@gmail.com, shumotoyama@gmail.com

**Abstract.** *A WBANs (Wireless Body Area Networks) number dimensioning technique for cluster-type network structure is proposed in this paper. The WBANs, in this structure, are located, together with the sink nodes, at the ends of the network. An access scheme is provided so that the sink nodes, which temporarily store the data packets of the WBANs, transmit these packets to the collector nodes. The collector nodes form a cluster that cooperate to forward the data to a coordinator node that in its turn has access to the hospital directly or through the Internet. The transmission links used in this structure are all wireless links, of relatively low capacities. In addition, since the data are medical, there is a need for such data to reach the hospital as quickly as possible. The proposed dimensioning technique takes into account for the calculation of the number of WBANs, the packet delays in whole network which are estimated through the queuing theory. The results show that capacities of link and total network delay are essential for dimensioning the number of WBANs.*

**Resumo.** *Neste artigo é proposta uma técnica de dimensionamento de número de WBANs para a estrutura de rede do tipo 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 para encaminhar os dados até um nó coordenador que por sua vez tem acesso ao hospital diretamente ou através da Internet. Os enlaces de transmissão utilizados nessa estrutura são todos sem fio de, relativamente, capacidades baixas. Além disso, como os dados são médicos, há necessidade desses dados chegarem o mais rápido possível ao hospital. O dimensionamento proposto, neste artigo, leva em conta para o cálculo das WBANs, os atrasos dos pacotes em toda rede que são estimados através da teoria de fila. Os resultados mostram que as capacidades dos enlaces e o atraso total da rede são essenciais para dimensionar o número de WBANs.*

## 1. Introdução

A evolução de rede sem fio está permitindo inovações tecnológicas que podem afetar todo o cotidiano das pessoas [1]. Essas inovações estão revolucionando aplicações tecnológicas em controle, em rastreamento, em monitoramento e em automação [2][3]. Uma evolução bastante observada ocorreu em Rede de Sensores Sem Fio (RSSF), e que está possibilitando a sua aplicação em área médica. 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[4]. Os dispositivos sensores do WBAN devem fornecer respostas em tempo real sem causar desconforto ao usuário, proporcionando também maior flexibilidade e mobilidade [5].

As WBANs podem ficar fisicamente alojadas dentro de hospitais, nas casas de repouso de idosos ou ainda em residências de pacientes. Dessa forma, as WBANs 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. No caso de WBANs em residências, se as residências possuem Wi-Fis ou celulares 3G ou 4G, essas infraestruturas poderão ser usadas diretamente. Entretanto, em locais mais longínquos onde não existam infraestrutura de rede ou celulares 3G ou 4G, 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[6][7]. Os nós coletores formam uma estrutura em cluster, e atuam coletivamente e cooperativamente para transportar os dados até a estação base. Os principais objetivos desses artigos são as apresentações das concepções dessas redes e os seus detalhamentos. Uma diferente abordagem é feita em[8]. 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.

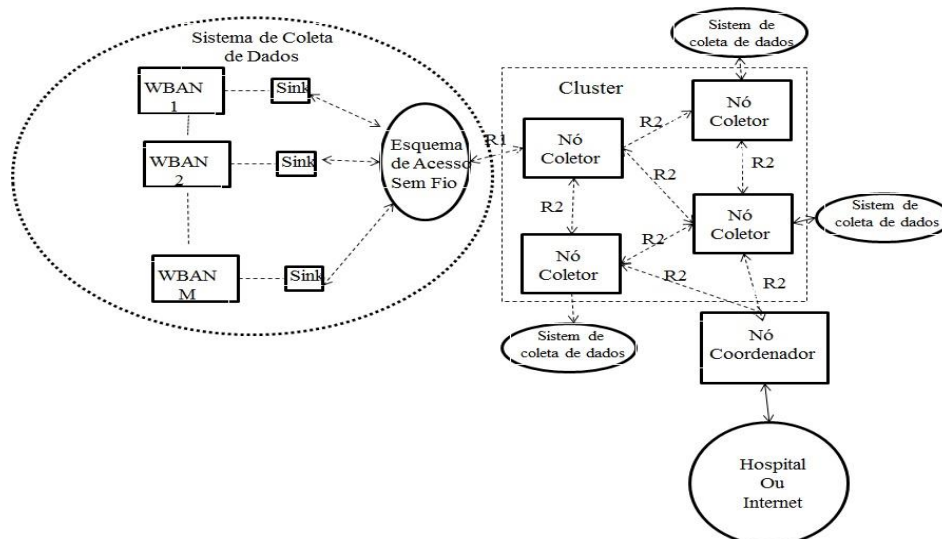
O objetivo deste trabalho é propor, também, um dimensionamento do número de WBANs em uma rede com estrutura do tipo cluster. Nessa proposta, entretanto, os nós coletores possuem capacidades de enlace limitadas e são providas de esquemas de acesso para as WBANs enviarem os pacotes de dados. Além disso, 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.

Este artigo está organizado em 4 seções. Na Seção 2 a seguir, são apresentados a configuração da rede proposta para coleta de dados das WBANs, assim como, esquema de acesso. O modelo de rede, estimação de atrasos, exemplos numéricos e resultados para o dimensionamento são discutidos na Seção 3. Finalmente, na última seção são apresentadas as conclusões deste artigo.

## **2. Estrutura da Rede Proposta**

Na Fig. 1 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 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 Fig. 1 operam com transmissão sem fio, através de rádios (mostrados com enlaces de linhas pontilhadas na figura).



**Figura 1. 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 *TDMA* (Time Division Multiple Access) e *Polling*, pelas suas simplicidades. Os nós coletores formam uma estrutura cluster e trocam informações entre si para cooperativamente enviar os dados ao nó coordenador. 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 ou tem acesso a Internet para encaminhar os dados até ao hospital.

### 3. Dimensionamento do Número de WBANs

Na configuração proposta na Fig.1, 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 deste trabalho é dimensionar o valor *M* 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 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 radio do TDMA (*R1*) e de todos os nós coletores (*R2*) serão iguais.

O TDMA opera com estrutura de quadros cíclicos e sincronizados, como mostra a Fig. 2.

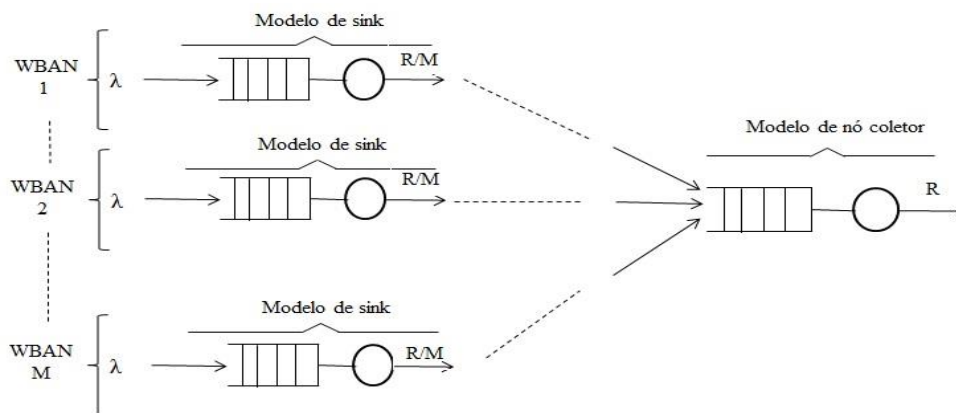


**Figura 2. Estrutura de quadros do TDMA.**

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  $\lambda$ . 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  $M \cdot E\{x\} / R$  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.

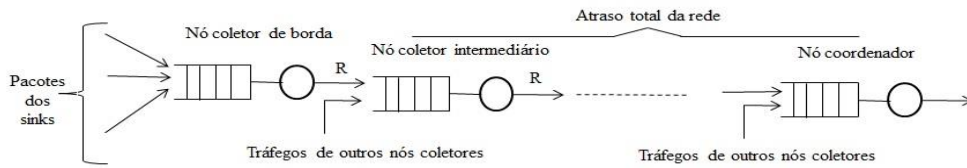
Com as suposições adotadas, o modelo de fila do sistema de coleta de dados incluindo o buffer do nó coletor para o dimensionamento será aquele mostrado na Fig. 3.



**Figura 3. Modelo de fila do sistema de coleta de dados.**

A figura mostra que em cada nó sink chegam os pacotes das WBANs, a uma taxa média de  $\lambda$  pcts/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 Fig. 4.



**Figura 4. 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:

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

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 Fig. 3, 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.

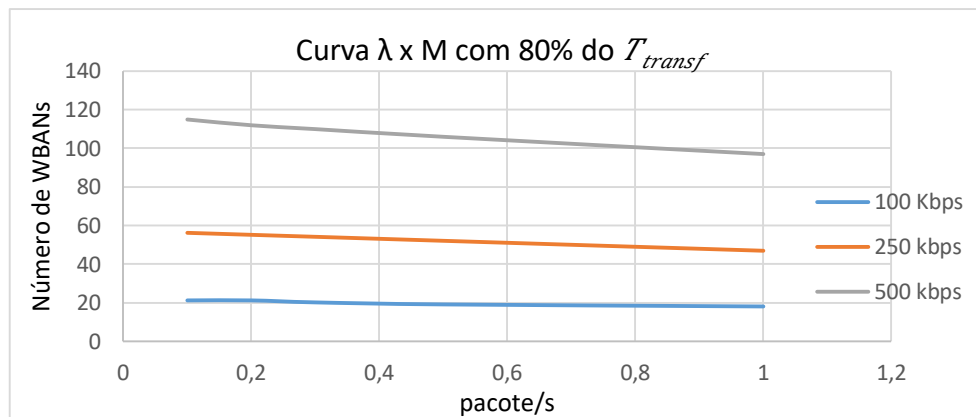
$$\lambda E\{X\}^2 M^2 + (2\lambda E\{X\}RK + E\{X\}R)M - 2R^2K = 0,$$

$$e^{-K} = T_{transf} - \frac{2E\{X\}}{R} - T_{rede} \quad (5)$$

### 3.4 Exemplos Numéricos e Resultados

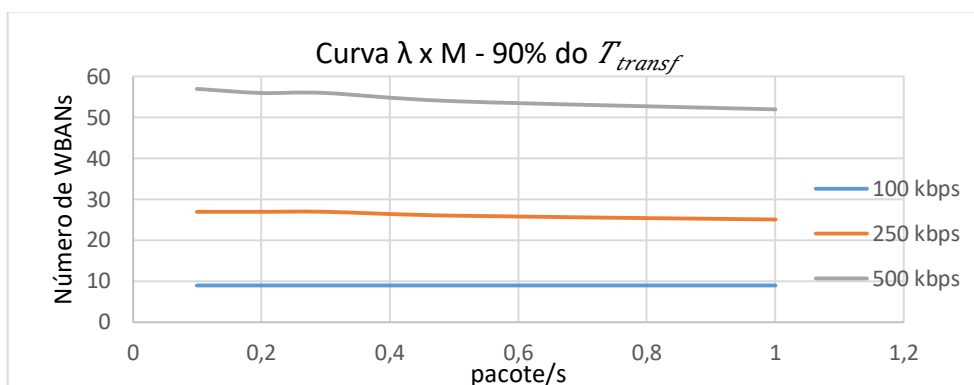
Para exemplos numéricos do dimensionamento os seguintes valores são adotados. Os diferentes valores de taxa  $\lambda$  utilizados são 0,1, 0,2, 0,3, 0,5 e 1 pacotes/s, de cada WBAN. O comprimento de pacote fixo,  $E\{X\}$ , é de 500 bits, e as diferentes capacidades de transmissão,  $R$ , utilizadas são 100 kbps, 250 kbps e 500 kbps. Esses valores adotados são somente estimativas, pois, não existem ainda redes reais em operação. Para o caso da taxa de transmissão  $R$ , 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.

A Fig. 5 mostra a estimativa do número de WBANs quando a Eq. 5 é resolvida numericamente para os valores acima e  $T_{rede} / T_{transf} = 0,8$ . 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  $\lambda = 1$  pacote/s com capacidade do enlace de 100 kbps podem ser acomodadas, no máximo, 18 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 18 para 21). Entretanto, observa-se uma maior variação para capacidades maiores; de 47 a 56 WBANs para a capacidade de 250 kbps e de 97 a 115 para 500 kbps.



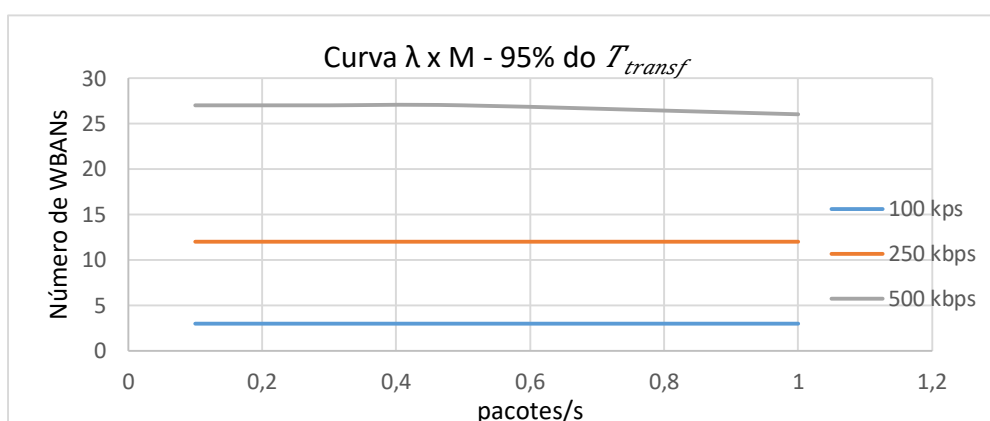
**Figura 5. Quantidades de WBANs em função das taxas de entradas para diversas capacidades e  $T_{rede} / T_{transf} = 0,8$ .**

A Fig. 6 mostra a estimativa do número de WBANs com  $T_{rede} / T_{transf} = 0,9$ . É importante notar que para a capacidade de enlace de 100 kbps a quantidade do número de WBANs permaneceram constante em relação as variações das taxas de entrada de pacotes, e nas capacidades de enlace de 250 e 500 kbps ocorreram apenas uma pequena variação. Entretanto, percebe-se uma redução considerável no número de WBANs que podem ser acomodadas para todas as capacidades (em torno de 9, 22 e 45 WBANs para as capacidades 100 kbps, 250 kbps e 500 kbps, respectivamente).



**Figura 6. Quantidades de WBANs em função das taxas de entradas para diversas capacidades e  $T_{rede} / T_{transf} = 0,9$ .**

Na Fig. 7 mostra a estimativa do número de WBANs com  $T_{rede} / T_{transf} = 0,95$ . Nesse exemplo podemos observar que nas capacidades de 100 e 250 kbps a quantidade do número de WBANs permaneceram constante com as variações da taxa de entrada de pacotes, e na capacidade de enlace de 500 kbps, essa variação foi insignificante. Entretanto, houve uma redução drástica no número de WBANs que podem ser acomodadas para as três capacidades de enlaces (em torno de 6, 13 e 26 WBANs, para as capacidades, 100 kbps, 250 kbps e 500 kbps, respectivamente). Significando que um atraso considerável no cluster de nós coletores, a estrutura toda será afetada e poderá operar com baixa eficiência.



**Figura 7. Quantidades de WBANs em função das taxas de entradas para diversas capacidades e  $T_{rede} / T_{transf} = 0,95$ .**

Os resultados das Figs. 5, 6 e 7 mostram que as capacidades dos enlaces, na estrutura proposta, são muito importantes na definição dos números de WBANs. 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.

#### 4. Conclusão

Neste artigo foi proposta uma técnica de dimensionamento para calcular o número de WBANs para uma infraestrutura de rede baseada em cluster de nós coletores que utilizam

um esquema de acesso TDMA para coletar os dados dos pacientes das WBANs. A principal restrição para o dimensionamento foi o atraso total de transferência de pacotes. Os atrasos são estimados em cada segmento da rede através da teoria de fila.

Os resultados indicaram que a capacidade do enlace é o principal fator para definir o número de WBANs que podem ser acomodadas na infraestrutura de rede proposta. Um outro fator bastante importante que afetou na definição do número de WBANs, foi o atraso total do cluster de nós coletores. Um atraso longo nesta parte pode afetar totalmente a eficiência da infraestrutura da rede proposta.

## Referências

- [1] 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
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] ChrisOtto, 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.