

Um Mecanismo de Compressão de Dados Local em Tempo Real Energeticamente Eficiente para Redes WBANs

Cainã Passos¹, Aldri Santos¹ (Orientador)

¹Núcleo de Redes Sem-Fio e Redes Avançadas (NR2) – PPGInf – UFPR

cpassos@inf.ufpr.br, aldri@inf.ufpr.br

Abstract. *Among the networks for health care monitoring, we highlight wireless body networks (WBANs), which enable continuous and real-time monitoring of physiological signals. However, this monitoring results in the overuse of data transmission, drastically affecting the power consumption of the devices. This dissertation investigated these issues and has proposed the GROWN system, a hybrid approach to local data compression to reduce the redundancy of information in the data transmission and reduce the energy consumption of the devices, through WSN local data compression methods. GROWN was evaluated through experimentation and achieved a decrease in the energy consumption of the devices in face of transmitted signals and an increase in network lifetime.*

Resumo. *Dentre as redes computacionais voltadas ao cuidado com a saúde, destacam-se as redes corporais sem fio (WBANs), que possibilitam o monitoramento contínuo e em tempo real dos sinais fisiológicos. No entanto, esse monitoramento resulta em uso excessivo de transmissão de dados, afetando drasticamente o consumo de energia dos dispositivos. Esta pesquisa de dissertação investigou essas questões e propôs o sistema GROWN¹, uma abordagem híbrida de compressão de dados local para reduzir a redundância de informações na transmissão de dados e redução do consumo de energia dos dispositivos, através de métodos de compressão de dados locais de WSN. O GROWN foi avaliado por meio de experimentação e obteve uma diminuição do consumo de energia dos dispositivos na transmissão dos sinais e um aumento na vida útil da rede.*

1. Introdução

As redes corporais sem fio (*Wireless Body Networks* - WBANs) têm como propósito coletar, monitorar e transmitir sinais fisiológicos às diversas aplicações médicas e a profissionais de saúde, não interferindo na vida diária dos pacientes [Movassaghi et al. 2014]. As WBANs buscam oferecer um serviço de monitoramento contínuo e remoto, propiciando maior mobilidade e, em muitos casos, sendo desnecessária sua permanência num hospital. Por exemplo, numa situação de esgotamento dos hospitais, em caso de urgência de pandemia como o coronavírus, onde a ocupação de leitos hospitalares é uma questão sensível. Essas redes também dão suporte à telemedicina e a diagnósticos pró-ativos de modo a mitigar problemas de saúde dos pacientes. Os dispositivos numa WBAN caracterizam-se por sua heterogeneidade, variando as capacidades de memória, tarefas e tamanhos. Em geral, os dispositivos são energeticamente alimentados por pequenas baterias, adicionando mais restrições ao consumo de energia

¹<http://www.nr2.ufpr.br/~cpassos/grown.html> (em inglês)

na comunicação. A inoperância de um dispositivo por conta do consumo elevado de energia nas comunicações de aplicações de tempo real leva à perda de dados, e influencia no acompanhamento das condições de saúde do indivíduo. Logo, o consumo de energia é um grande desafio nas WBANs, visto que, os sensores necessitam de energia para detecção dos sinais e comunicação [Movassaghi et al. 2014].

Embora trabalhos como [Javaid et al. 2016, Khan and Pathan 2018] proponham protocolos de comunicação para maximizar o tempo de vida da rede, eles não consideram a redundância dos dados coletados e transmitem todas as informações. A fim de reduzir a redundância destacam-se as técnicas de compressão de dados, comumente dividida em duas classes: com perdas e sem perdas. Na primeira, uma quantidade aceitável da informação é descartada, tal que seja reduzida a quantidade de bits transmitidos. Já a segunda emprega tabelas de codificação para diminuir a quantidade de dados na transmissão e preservar a integridade do dado coletado. No entanto, há a necessidade do uso de ambas as classes nas redes WBANs, onde diversos dispositivos capturam sinais distintos. Nessas condições, elas atuam de maneira híbrida e a gestão do serviço de compressão precisa adaptar-se às características dos sinais de sensoriamento coletados, de modo a obter uma eficiência energética. Apesar dos trabalhos se adaptarem à heterogeneidade dos sinais, eles não levam em conta a latência máxima estabelecida por uma WBAN, que determina 125ms para aplicações médicas e 250ms para outras aplicações [Movassaghi et al. 2014].

1.1. Objetivos e Contribuições

Para atender tais desafios, investigou-se novas formas para reduzir o consumo de energia dos dispositivos sem afetar drasticamente a latência máxima permitida numa WBAN. Assim, esta dissertação buscou explorar e responder as seguintes questões de pesquisa atreladas ao problema levantado: *i) Como o emprego de métodos de compressão de dados local contribuem para a eficiência energética dos dispositivos corporais nas WBANs?* O emprego de métodos de compressão de dados local contribui para redução da informação transmitida. Além disso, é possível reduzir a redundância da informação coletada pelos sensores. Logo, a quantidade de pacotes transmitidos é reduzida e gera-se eficiência energética nos dispositivos. *ii) Em que medida o uso de compressão de dados local interfere na transmissão das informações processadas pelos dispositivos corporais em aplicações de tempo real?* As redes corporais sem fio de tempo real possuem uma latência máxima estabelecida conforme seu padrão [IEEE 2012]. O uso de compressão de dados local interfere no pós-processamento do sinal fisiológico coletado pelo sensor. Tendo em vista que toda informação leva um tempo para ser comprimida. Logo, a medida altera-se conforme o método empregado. *iii) A aplicação de métodos de compressão de dados local auxilia para ampliar o tempo de vida dos dispositivos corporais numa WBAN?* Abordagens clássicas transmitem toda informação coletada pelos sensores corporais. O emprego de métodos de compressão de dados local auxilia na redução de pacotes transmitidos. Assim, diminui-se o uso do rádio para transmissão, um dos principais consumidores de energia. Logo, aumenta-se o tempo de vida dos dispositivos.

O desenvolvimento dessa dissertação resultou em contribuições científicas na área de computação, com ênfase em redes sem fio não estruturadas voltada à gerência de desempenho. A seguir, as contribuições deste trabalho estão descritas de forma detalhada: *i)* um estudo na literatura acerca dos métodos de compressão de dados local das redes de sensores sem fio que podem ser moldados para as redes corporais sem fio, além de méto-

dos de compressão de dados local voltados especificamente para as redes WBANs. Esses métodos foram classificados de acordo com o tipo de rede pesquisado e sua aplicação para o problema de pesquisa; *ii) Proposição do mecanismo GROWN*: Ele baseia-se em métodos encontrados nas WSNs e analisa a diferença da correlação entre amostras consecutivas coletadas por sensores fisiológicos. Assim, a compressão desta diferença ocorre através de uma tabela fixa que não impacta drasticamente no atraso para apresentação da informação. Portanto, o mecanismo contribui para a redução no consumo de energia dos dispositivos; *iii) Investigação experimental da eficácia do GROWN*: Uma análise e discussão sobre os resultados obtidos pelo mecanismo para redução no consumo de energia dos dispositivos corporais, bem como sua aplicação em WBANs de tempo real.

2. O Sistema GROWN para Compressão de Dados em WBANs

O mecanismo GROWN objetiva reduzir a quantidade da informação transmitida de um dispositivo vestível para um dispositivo central (*sink*), que possui maior capacidade de processamento e energia sem afetar o atraso máximo de uma WBAN. O GROWN é executado sobre um conjunto de dispositivos vestíveis (nós) interligados numa rede WBAN conforme Figura 1. Esses nós possuem capacidade de processamento e de comunicação para coletar e disseminar sinais fisiológicos. Cada nó possui um identificador único (*Id*), imutável no tempo, que o identifica na rede. Um dispositivo coleta um tipo de sinal fisiológico, processa e transmite a informação, através de um meio sem fio, para um dispositivo *sink*. Assume-se que há um controle de perdas de mensagens entre os dispositivos sensores e o *sink* através da tecnologia de comunicação sem fio disponível.

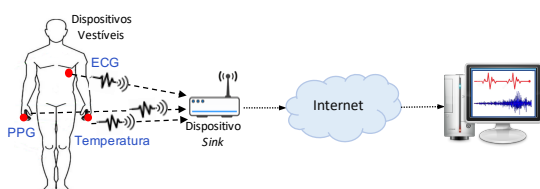


Figura 1. Modelo de Rede

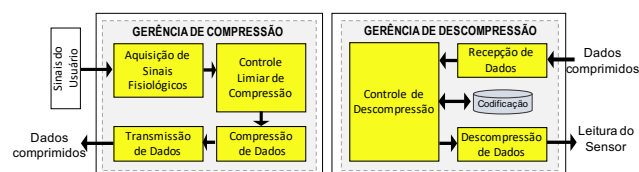


Figura 2. Arquitetura do GROWN

A arquitetura do GROWN, ilustrada na Figura 2, é composta pelo módulo *Gerência de Compressão* que recebe os sinais fisiológicos do usuário, realiza a sua compressão e envia ao módulo *Gerência de Descompressão*, responsável por recuperar o valor original da informação codificada através de um processo de descompressão.

O **Módulo Gerência de Compressão** obtém sinais fisiológicos do usuário, por meio de sensores vestíveis, e converte esses sinais analógicos para digital. Após análise, comprime esses dados e envia para um dispositivo *sink*. Ele é composto por componentes que convertem o sinal fisiológico analógico para digital; analisam o dado digital e definem a forma de compressão adequada; realizam a compressão dos dados; e transmitem esses dados ao dispositivo *sink*, por meio de uma conexão sem fio, para descompressão.

Os sensores vestíveis iniciam sua operação coletando sinais fisiológicos do usuário e, na medida que as leituras são realizadas, são recebidas pelo componente *Aquisição de Sinais Fisiológicos*. Esse componente converte o sinal fisiológico analógico para digital e o envia ao componente *Controle Limiar de Compressão*. Conforme descreve o Algoritmo 1, esse componente recebe a leitura atual do sensor (*l.1*). Se for a primeira

leitura do sensor (l.3), armazena essa leitura para comparação com as próximas (l.4), registrando (l.6) e enviando essa leitura para compressão (l.14). Nas próximas leituras, ele verifica a diferença entre a leitura atual e a anterior (l.8), a fim de auxiliar a tomada de decisão sobre a compressão dessa informação. Para minimizar a redundância nas transmissões de informações, esse componente emprega um limiar previamente estabelecido. Ele verifica se a diferença absoluta entre as leituras atual e anterior é superior ao limiar estabelecido ou se não foi estabelecido um limiar (l.9). Nessas condições, ele verifica a diferença entre a leitura atual e anterior (l.10), armazena a leitura atual para comparação com as próximas (l.11) e a envia para compressão (l.14). Conforme ilustra a Figura 2, o componente *Compressão de Dados* recebe a leitura processada, comprime e encaminha os dados ao componente *Transmissão*. Este componente envia os dados comprimidos ao dispositivo *sink*, por meio da tecnologia sem fio disponível, à medida que eles chegam.

Algoritmo 1: Controle de Compressão

```

1 procedure CONTROLECOMPRESSAO (leitura_atual)
2   valor_compressao  $\leftarrow$  0
3   if (primeira_leitura == True)
4     leitura_anterior  $\leftarrow$  leitura_atual
5     primeira_leitura  $\leftarrow$  False
6     valor_compressao  $\leftarrow$  leitura_atual
7   else
8     aux_leitura  $\leftarrow$  |leitura_anterior - leitura_atual|
9     if ((t_limiar > 0 AND aux_leitura > t_limiar) OR (t_limiar == 0))
10      valor_compressao  $\leftarrow$  (leitura_atual - leitura_anterior)
11      leitura_anterior  $\leftarrow$  leitura_atual
12    endif
13  endif
14  return (valor_compressao)
15 end procedure

```

O componente *Compressão de Dados* codifica a informação recebida do componente *Controle Limiar de Compressão* (e_{ts}) modificando a tabela de codificação Exponencial de Golomb (Exp-Golomb) de ordem $K = 3$. As amostras recebidas ($e_{ts} \neq 0$) são representadas por uma sequência de bits bs_i , que divide-se em duas partes $s_i|a_i$. A primeira parte (s_i) identifica o grupo ao qual e_{ts} pertence e ilustra o valor de n_i , que equivale à quantidade de bits necessária para representar e_{ts} . Assim, os primeiros $2^k - 1$ valores de n_i possuem grupos s_i representados por $\lfloor \log_2(|e_{ts}|) \rfloor + 1$, onde s_i é representado por k bits. Após este nível ($n_i > 6$), o valor do grupo s_i é determinado por $\lfloor \log_2(|e_{ts}|) - 1 \rfloor$, onde os primeiros $s_i - 1$ valores de s_i são representados por 1 seguidos do valor 0. A parte a_i corresponde à representação binária de e_{ts} , que é um código de tamanho inteiro variável e gerado conforme as regras disponíveis na Tabela 1.

Tabela 1. Regras de compressão dos dados

Condição	Regra de compressão
$e_{ts} < 0$	Efetuar complemento de 2 de e_{ts} , subtrair 1 e utilizar os n_i bits menos significativos
$e_{ts} = 0$	Codificar s_i como 000 e não representar a_i
$e_{ts} > 0$	a_i corresponde aos n_i bits menos significativos do complemento de 2 de e_{ts}

A Tabela 2 apresenta os valores de codificação sem perdas com os índices n_i , grupos s_i e os valores de e_{ts} . Essa codificação depende da distribuição das diferenças entre os valores de e_{ts} . Diferenças mais frequentes associam-se a códigos mais curtos. Após

a compressão de e_{ts} , uma nova informação é gerada e transmitida (Inf_{ts}) ao dispositivo *sink* por meio da comunicação sem fio.

Tabela 2. Tabela de codificação proposta

n_i	s_i	e_{ts}	bit	byte	n_i	s_i	e_{ts}	bit	byte
0	000	0	3	1	4	100	-15,...,-8,+8,...,+15	7	1
1	001	-1,+1	4	1	5	101	-31,...,-16,+16,...,+31	8	1
2	010	-3,-2,+2,+3	5	1	6	110	-63,...,-32,+32,...,+63	9	2
3	011	-7,...,-4,+4,...,+7	6	1	7	11110	-127,...,-64,+64,...,+127	12	2

O **Módulo Gerência de Descompressão** opera no dispositivo *sink*, que detém recursos de energia, armazenamento e processamento para executar a descompressão de dados enviados por dispositivos vestíveis pertencentes à WBAN. O componente *Recepção de Dados* (RD) inicia a recuperação do valor correspondente ao sinal fisiológico coletado e enviado pelos dispositivos vestíveis. Após receber a mensagem com os dados comprimidos (bs_i) e a identificação do dispositivo de origem (D_{Id}), ele separa essas informações para uso posterior. O *Controle de Descompressão* (CD) recebe estas informações de RD, e como descrito no Algoritmo 2, mantém uma *Lista de Referências* (LR), com a identificação (D_{Id}) dos dispositivos vestíveis conectados à rede e o valor da última leitura (\hat{x}_{ts}).

Algoritmo 2: Controle de Descompressão

```

1 procedure CONTROLEDSCOMPRESSAO (dados_comprimidos, id)
2   ultimaleitura  $\leftarrow$  obtemultimaleitura(id)
3   prefixo  $\leftarrow$  obtemprefixo(dados_comprimidos)
4   sufixo  $\leftarrow$  obtemsufixo(dados_comprimidos)
5   valor_dado  $\leftarrow$  bdcodificacao(prefixo, sufixo)
6   return (valor_dado, id)
7 end procedure

```

Após CD consultar a LR com o D_{Id} ele obtém o \hat{x}_{ts} desse dispositivo, o prefixo (s_i) e o sufixo para o bs_i recebido (l.2-4). Em seguida, ele consulta a base de dados *Codificação* (l.5), que armazena os índices n_i , os grupos s_i e seus valores a_i . Cada valor de a_i é exclusivo em todo grupo s_i , permitindo a recuperação da informação por meio de poucas instruções, adequando-se a uma operação em tempo real. Depois, CD obtém o valor correspondente da informação bs_i , adquire a última leitura do dispositivo D_{Id} salva na *Lista de Referências* (\hat{x}_{ts}), atualiza a LR e encaminha os valores ao componente *Descompressão de Dados*. Este componente calcula a diferença entre \hat{x}_{ts} antes da atualização da LR e o valor obtido de bs_i . Por fim, o valor lido pelo sensor é disponibilizado para uso.

2.1. Funcionamento

Considere um ambiente de WBAN com um dispositivo vestível de sensoriamento contínuo de temperatura e que este dispositivo interage com um *smartphone* atuando como o *gateway* através da tecnologia *bluetooth*, como ilustra a Figura 3. O dispositivo vestível obtém o sinal fisiológico de temperatura da pessoa e converte de analógico para digital em uma representação binária (x_{ts}) com R bits. Tendo em conta que o valor lido foi 38, então x_{ts} em 8 bits torna-se 00100110. A tomada de decisão sobre a compressão do dado depende do filtro de predição (T), que é pré-definido. Assumindo $T = 1$, esse filtro verifica o valor de x_{ts} , e como trata-se da primeira leitura do sensor, a leitura anterior (\tilde{x}_{ts}) recebe o valor 0 (zero). Dessa forma, o erro de predição (e_{ts}), que corresponde à diferença entre leituras sucessivas, é $e_{ts} = x_{ts} - \hat{x}_{ts} = 38$.

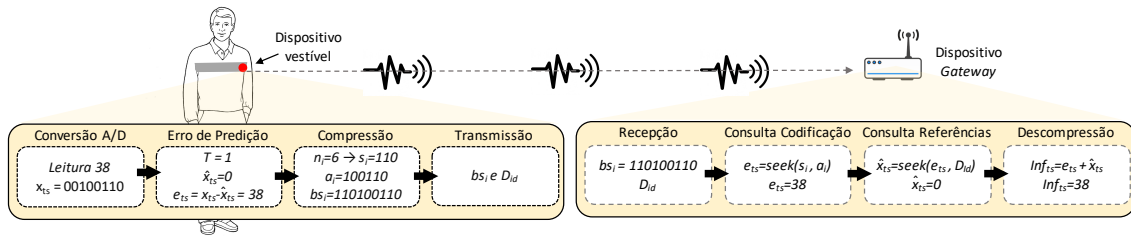


Figura 3. Exemplo de funcionamento

O valor de e_{ts} é convertido em uma sequência de bits (bs_i) composta de duas partes $s_i|a_i$. s_i representa o grupo (n_i) ao qual e_{ts} pertence. Assim, $n_i = \lfloor \log_2(|38|) \rfloor + 1 = 6$. Consultando-se a tabela dos valores de codificação (Tabela 2), verifica-se que s_i pertence ao grupo 110. Em seguida, obtém-se a_i convertendo para binário de $e_{ts} = 38$, resultando em $a_i = 100110$. Logo, $bs_i = 110100110$. Então a mensagem transmitida ao *gateway* é composta da bs_i e da identificação do dispositivo vestível (D_{Id}). Já o *gateway* ao receber a mensagem do dispositivo vestível verifica sua identificação (D_{Id}) e os dados recebidos (bs_i). Os dados são decompostos, obtendo-se $s_i = 110$ e $a_i = 100110$. Consultando-se a *Tabela de Codificação* com s_i e a_i , obtém-se o erro de predição (e_{ts}). Em seguida, uma consulta à *Tabela de Referências* usando e_{ts} e D_{Id} retorna o último valor recebido desse dispositivo, $\hat{x}_{ts} = 0$. Finalmente, a informação (Inf_{ts}) correspondente ao sinal do dispositivo vestível é recuperada, $Inf_{ts} = e_{ts} + \hat{x}_{ts} = 38$.

3. Metodologia da Avaliação e Resultados

O módulo gerência de descompressão, localizado no *sink*, foi implementado no Android Studio, versão 3.6.1. O aplicativo desenvolvido ² foi instalado em um celular Motorola, modelo Moto G⁴ Plus, que opera com o sistema operacional Android, versão 7.0. A implementação do módulo gerência de compressão com e sem perdas ocorreu através da linguagem C++ e compilada para placas Arduino com características da Tabela 3.

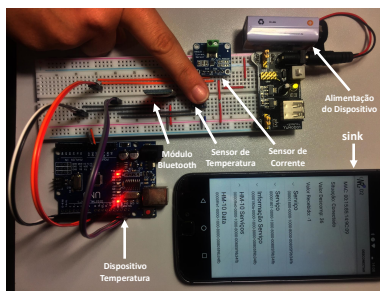


Figura 4. Testbed Temperatura

O ambiente de experimentação consistiu de três dispositivos corporais fixos e um dispositivo celular atuando como *sink* da WBAN, conforme ilustrado na Figura 1. Esses dispositivos corporais correspondem ao sensoriamento de Temperatura, ECG e PPG (Tabela 3). Para aprimorar a análise do GROWN, criou-se um quarto dispositivo (**ECGBD**) para comprimir sinais ECG da base de dados (MIT-BIH Arrhythmia³) salva em um módulo SD. Os dispositivos foram produzidos em *Protoboards* Mb102. As *protoboards*

Tabela 3. Dispositivos corporais

Característica	Dispositivo		
	Temperatura	PPG	ECG e ECGBD
Placa	Arduino UNO	Arduino UNO	Arduino Mega
Microcontrolador	ATmega328P	ATmega328P	ATmega2560
Sensor Corporal	MLX90614	PulseSensor	AD8232

²Código disponível em <https://github.com/cainapassos/GROWN>

³<https://alpha.physionet.org/content/mitdb/1.0.0/>

forneem energia para todos os sensores e placas Arduino, responsáveis pela gerência dos sensores e do GROWN na compressão. Elas são alimentadas por fontes reguladas para operar em 5 V. Cada fonte é alimentada por uma bateria de 9 V com capacidade energética de 400 mAh. Cada dispositivo coleta apenas um tipo de sinal fisiológico.

A compressão e a descompressão dos dados impõem um processamento adicional ao sensor e ao dispositivo *sink*. As variações da compressão (AC) e descompressão (AD) ao longo do tempo são apresentadas na Figura 5. As variações na AC são devidas à correlação entre amostras consecutivas, que quanto maior, menor é a diferença. Assim, o GROWN gera códigos mais curtos para compressão e diminui o atraso total. Esta correlação é observada no sinal de temperatura, que apresentou um atraso médio de compressão de ≈ 1 ms, visto no Gráfico 5(g), visto que ele sofre poucas alterações ao longo do tempo.

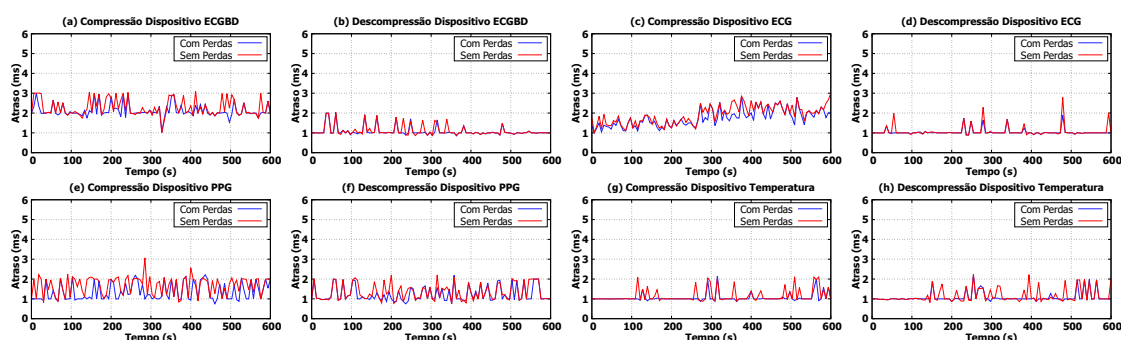


Figura 5. AC e AD alcançado pelo GROWN nos sinais sensorizados

A correlação dos demais sinais apresentou uma grande variação ao longo do tempo, como visto nos Gráficos 5(a), 5(c) e 5(e). Enquanto o dispositivo ECG apresentou um atraso médio de ≈ 3 ms, o atraso do PPG foi de ≈ 2 ms. O GROWN obteve um comportamento similar com a base de dados real no dispositivo ECGBD, com média de ≈ 3 ms na compressão. Este comportamento repete-se no dispositivo *sink*. Porém, devido ao seu maior poder computacional, a descompressão impõe um atraso menor, ≈ 1 ms, como exibidos nos Gráficos 5(b), 5(d) e 5(h).

O Atraso médio (AM) deve-se a compressão, transmissão e descompressão do GROWN conforme Figura 6. A transmissão dos dados impôs um atraso médio de ≈ 49 ms a todos os dispositivos, assim como [Gatouillat et al. 2018], que verificou um intervalo entre amostras de $\approx 48,75$ ms em conexões *Bluetooth* BLE no Android 7.0. Em geral, o GROWN aumentou em 7,84% o tempo total de transmissão aos dispositivos ECG e ECGBD, 6% ao PPG, e 2,04% para o de Temperatura. Assim, o tempo de compressão e descompressão não afeta drasticamente o atraso entre amostras consecutivas e demonstra a aplicabilidade do GROWN nas WBANs de tempo real. O uso do GROWN

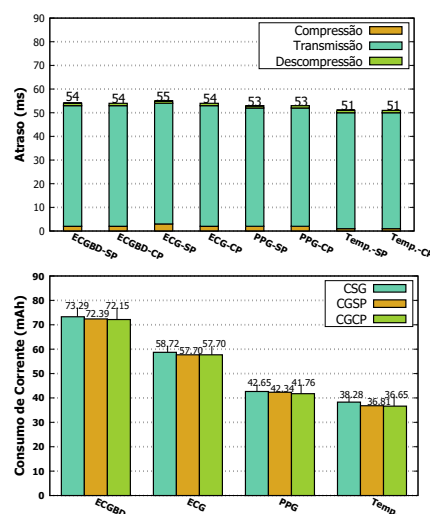


Figura 6. AM e CED alcançados pelo GROWN

com perdas (**CGCP**) e sem perdas (**CGSP**) reduziu o consumo de energia dos dispositivos (**CED**) sobre os dispositivos sem o GROWN (**CSG**) conforme Figura 6. A redução aumenta do tempo de vida dos dispositivos, como visto na Tabela 4. Para mitigar o impacto do módulo de comunicação sem fio que permanece ativo e emparelhado nas experimentações, o dispositivo Temperatura foi configurado para desativar a comunicação sempre que duas amostras consecutivas não são transmitidas. Essa configuração aumentou a vida útil do dispositivo em 53,73% com **CGCP** e 48,37% com **CGSP**, como ilustra a Tabela 5.

Tabela 4. Tempo de vida

Dispositivo	Autonomia da bateria (h)		
	CSG	CGSP	CGCP
ECGBD	5,46	5,53	5,54
ECG	6,81	6,93	6,93
PPG	9,38	9,45	9,58
Temperatura	10,45	10,87	10,91

Tabela 5. (CED) Temperatura

Compressão	Autonomia da bateria (h)	
	Normal	Sleep
CGCP	10,91	16,05
CGSP	10,87	15,50

4. Conclusão e Impacto da Dissertação

Este artigo resumiu a pesquisa de dissertação que investigou um modo de otimizar o tempo de vida dos dispositivos nas redes WBANs. Essas redes serão essenciais ao suporte à telemedicina e também diagnósticos pró-ativos de modo a mitigar problemas de saúde de pacientes remotos em áreas urbanas e rurais. Assim, desenvolveu-se o GROWN, um mecanismo para gerenciamento da compressão de dados local visando reduzir a redundância da informação na transmissão de sinais. Experimentações avaliaram a eficácia do GROWN e os resultados demonstram sua capacidade de gerenciar a compressão e descompressão dos dados sensorizados. Uma avaliação experimental demonstrou que essa abordagem propiciou a diminuição do consumo de energia dos dispositivos e o aumento do tempo de vida da rede sem exceder o limite da latência. Esta pesquisa também colabora para melhorar o desempenho da comunicação em áreas como realidade aumentada, jogos massivos, entre outras. As contribuições deste trabalho resultaram nas publicações [Passos et al. 2020b, Passos et al. 2020a] e o prêmio de melhor artigo do XXV WGRS (Workshop de Gerência e Operação de Redes e Serviços).

Referências

- Gatouillat, A., Massot, B., Badr, Y., Sejdić, E., and Gehin, C. (2018). Building iot-enabled wearable medical devices: an application to a wearable, multiparametric, cardiorespiratory sensor.
- IEEE (2012). Ieee standard for local and metropolitan area networks - part 15.6: Wireless body area networks. *IEEE Std 802.15.6-2012*, pages 1–271.
- Javaid, N., Ahmad, A., Tauqir, A., Imran, M., Guizani, M., Khan, Z. A., and Qasim, U. (2016). Modeling induction and routing to monitor hospitalized patients in multi-hop mobility-aware body area sensor networks. *EURASIP Journal on Wireless Comm. and Networking*, 2016(1):147.
- Khan, R. A. and Pathan, A.-S. K. (2018). The state-of-the-art wireless body area sensor networks: A survey. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 14(4):1550147718768994.
- Movassaghi, S., Abolhasan, M., Lipman, J., Smith, D., and Jamalipour, A. (2014). Wireless body area networks: A survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 16(3):1658–1686.
- Passos, C., Junior, C. P., Batista, A., de Lima, M., and dos Santos, A. (2020a). Compressão de dados local em tempo real energeticamente eficiente para redes wban. In *Anais do XXV Workshop de Gerência e Operação de Redes e Serviços*, pages 85–98. SBC.
- Passos, C., Pedroso, C., Batista, A., Nogueira, M., and Santos, A. (2020b). Grown: Local data compression in real-time to support energy efficiency in wban. In *2020 IEEE Latin-American Conference on Communications (LATINCOM)*, pages 1–6. IEEE.