

Avaliação de Autonomia de Baterias Recarregáveis para Aplicação em Rede de Sensores sem Fio

Sebastião Alves Neto, Ruy de Oliveira, Valtemir Emerêncio do Nascimento, Ed' Wilson Tavares Ferreira

Departamento de Área de Informática, Campus Cuiabá, Instituto Federal de Mato Grosso (IFMT)

Rua Zulmira Canavarros, 95 – 78005-200 – Cuiabá – MT – Brazil

seal.neto@globo.com,

{ruy, valtemir.nascimento, edwilson.ferreira}@cba.ifmt.edu.br

***Abstract.** The battery design is an important phase in the design of wireless sensor networks. The unavailability of the network can be caused by undersizing of the power system, on the other hand, the sizing causes unnecessary investment. This paper presents the results of measurements of the energy supply of rechargeable batteries and performs the comparison of results obtained with linear and nonlinear predictions. The authors also propose a metric for classifying the degree of integrity of traffic, with varying power supplied by the rechargeable batteries, sensors forming the network.*

***Resumo.** O dimensionamento de baterias é uma importante fase no projeto de redes de sensores sem fio. A indisponibilidade da rede pode ser provocada pelo subdimensionamento do sistema de energia, por outro lado, o superdimensionamento ocasiona investimento desnecessário. Este artigo apresenta o resultado de medições do fornecimento de energia de baterias recarregáveis e realiza a comparação dos resultados obtidos com previsões lineares e não lineares. Os autores ainda propõem uma métrica para classificar o grau de integridade do tráfego, conforme a variação da alimentação, fornecida pelas baterias recarregáveis, aos sensores que formam a rede.*

1. Introdução

Os recentes avanços tecnológicos contribuíram na melhoria e na produção de dispositivos eletrônicos, além da significativa redução de tamanho destes dispositivos. O progresso também propiciou melhoria no desempenho dos equipamentos, gerando economia no consumo de energia. Todos estes fatores foram importantes e impulsionaram a popularização das redes de sensores sem fio – RSSF. Estas redes se caracterizam pela presença de equipamentos com tamanho reduzidos, baixo consumo de energia e possibilidade de mobilidade dos nós. Possui um vasto campo de aplicação, desde o gerenciamento de infraestrutura para a segurança pública, automação de indústrias e transporte e comunicação de tropas militares (Siqueira, Ruiz, Loureiro, & Nogueira, 2004).

A coleta de dados meteorológicos é um importante exemplo de utilização de RSSF. As características próprias destas redes permite seu emprego em locais de difícil acesso, e a distribuição dos sensores pela área de interesse do estudo possibilita a coleta de dados e o transporte pela rede. Esta facilidade também se torna um grande desafio, pois nestes

cenários é latente a preocupação com a economia de energia, sobretudo devido a capacidade de armazenamento das baterias, que permitem autonomia desde alguns dias até anos (Siqueira et al., 2004).

Verifica-se que existem diversas propostas e estudos relacionados a avaliação e autonomia de baterias, utilizadas para alimentação em redes de sensores sem fio. Percebe-se ainda que boa parte das propostas são baseadas em simulações. Este artigo apresenta um estudo de avaliação de autonomia de fornecimento de energia, utilizando medições realizadas em laboratório, com o emprego de módulos de sensores de rede sem fio, sem o uso de simulações.

Os módulos de sensores empregados neste estudo, segundo o fabricante (ALBACORE, 2010), podem ser alimentados por baterias alcalinas ou recarregáveis, desde que forneçam tensão de 9V. Uma bateria alcalina típica, possui capacidade média de 600mA/h (Energizer Battery Manufacturing, 2012), enquanto que as baterias de NiMH variam de 150mA/h a 1300mA/h. Assim, torna-se necessário investigar a autonomia proporcionada por estas baterias, com objetivo de fornecer alimentação para a rede por um longo período de tempo.

O módulo que compõe uma RSSF possui vários estados de funcionamento, desde o consumo mínimo, no estado de dormência, até o consumo máximo, com o módulo ativo. É fácil perceber que a alteração no modo de funcionamento reflete diretamente na corrente elétrica, e assim, no consumo de energia. A carga variável influencia o perfil de descarga da bateria, portanto este é um fator que deve ser considerado nas avaliações (Schneider, Sausen, & Sausen, 2010).

Este artigo está organizado da seguinte forma. A seção 2 apresenta os trabalhos relacionados e na seção 3 é apresentada a metodologia empregada no estudo. A seção 4 traz a análise de descarga de bateria alimentando um dispositivo RSSF e na seção 5 é apresentado um comparativo das baterias e na sequência são apresentadas as principais conclusões e sugestões de trabalhos futuros.

2. Trabalhos Relacionados

Existem propostas, com diferentes abordagens, para contribuir no gerenciamento energético empregado em RSSF. A proposta apresentada por (Siqueira et al., 2004), emprega o gerenciamento centralizado para controlar a densidade de nós, com a aplicação de uma arquitetura baseada em três modelos de mapas: mapa de topologia, mapa de cobertura e mapa de energia, cujo objetivo é reduzir o impacto negativo da alta densidade, sem comprometer a qualidade de serviço desejado, aliado a redundância de enlaces para cobrir falhas na cobertura e prolongar o tempo de vida da rede, além do qual foi inicialmente projetada, porém o estudo realizado é baseado em simulação.

Conforme estudo apresentado por (Kostin & Amorin, 2007), verifica-se que o controle de potência de transmissão – CPT, em redes de sensores sem fio, é agravado em ambientes onde existem obstáculos, principalmente pelo efeito da interferência causada por multipercurso e ao alcance efetivo da propagação eletromagnética. Os autores apresentam um método que permite o CPT de cada nó sensor considerar tais fenômenos e a validação foi realizada através de simulações.

Em (Schneider et al., 2010) é realizada uma análise comparativa entre dois modelos analíticos de descargas de baterias: o modelo Linear e o modelo de Rakhmatov-Vrudhula. A avaliação realizada é baseada em simulações, com utilização de baterias alcalinas e sensores Mica Motes.

3. Metodologia

Utilizou-se módulos Xbee ZigBee do fabricante Digi International, através do INT700 XBee Adapter (DIGI, 2010). Este módulo implementa as funções do Zigbee como roteamento dinâmico e conexão com computadores através portas USB ou RS232, permitindo a função de supervisão ou controle, além da possibilidade de implementar "RF Serial Cable" nas versões ZigBee e 802.15.4. A alimentação pode ser realizada com tensão de 9 a 48V, para os módulos RS232 e 5V para os módulos com interface USB.

Considerando o uso apresentado em (Freitas, De Oliveira, Ramalho, Nascimento, & Ferreira, 2011; Nascimento, Ramalho, Oliveira, Ferreira, & Shinoda, 2011; Silva, de Oliveira, Nascimento, Shinoda, & Ferreira, 2011), tornou-se necessária a investigação sobre a autonomia de baterias nestes módulos, assim dois experimentos foram realizados. Definiu-se dois cenários para realizar avaliações propostas neste artigo: investigar o tempo de autonomia com carga estável, enquanto que no segundo cenário foi investigado a autonomia com carga variável. Para efetivar estas atividades, foi necessário o emprego de amperímetro e voltímetro, além de um dispositivo de rede para geração de tráfego. O diagrama de ligação é apresentado na Figura 1.

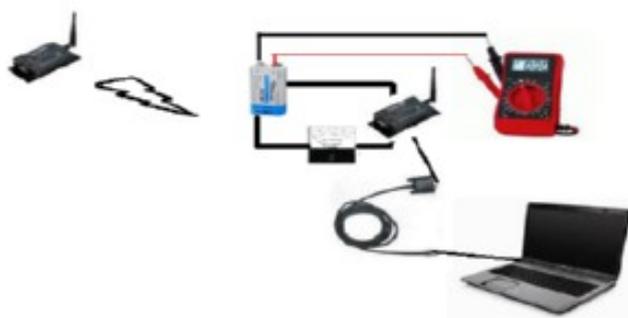


Figura 1: Diagrama utilizado na medição

A utilização deste diagrama para medição foi importante para mapear o consumo energético dos módulos. Além disso, estas informações auxiliam na escolha de baterias adequadas para alimentação. Feito isso, a próxima etapa foi a comparação das baterias. Tal ação foi realizada através dos métodos de predição do tempo de bateria para os dispositivos móveis.

4. Análise da Carga de uma Bateria Utilizada na Alimentação em Redes de Sensores sem Fio

A avaliação da autonomia da bateria foi realizada com o emprego do módulo apresentado na seção anterior, com uma bateria NiMH de 9B de 250mA/h. Para realizar o experimento, também foi utilizado um ponto remoto, a geração de tráfego entre os dois nós da rede. A

monitoração da corrente e tensão foi empregada em um dos módulos. Observou-se que a corrente média foi de 40mA.

Para evitar o efeito memória, utilizou-se toda a carga da bateria, e depois de completamente descarregada, foi carregada novamente, e em seguida, foi empregada no experimento, como descrito em (Trindade, 2006). Durante este experimento, foi avaliado o grau de integridade de tráfego, até o fim do fornecimento de energia pela bateria. Para facilitar o entendimento, elaborou-se uma métrica para medição do grau de integridade. Para isso, utiliza-se a quantidade de bits perdidos na transmissão de uma rajada, conforme classificação seguinte:

1. **Grau 30:** transmissão em rajada sem incidência de bits perdidos;
2. **Grau 25:** transmissão em rajada com perda de 1 a 5 bits;
3. **Grau 20:** transmissão em rajada com perda de 6 a 20 bits;
4. **Grau 10:** transmissão em rajada com perda acima de 20 bits e ocorrência de queda da transmissão.

Para obter estatísticas necessárias a fim de realizar a classificação do grau de integridade, foi utilizado o software X-CTU (DIGI, 2013), disponibilizado pelo fabricante dos equipamentos utilizados. Este software também permite realizar a configuração dos nós que compõe a rede.

Como se pode verificar na Figura 2, a bateria de 9V, neste cenário, alimentou o módulo de comunicação por apenas 4h, e após 4h45min a comunicação foi comprometida.

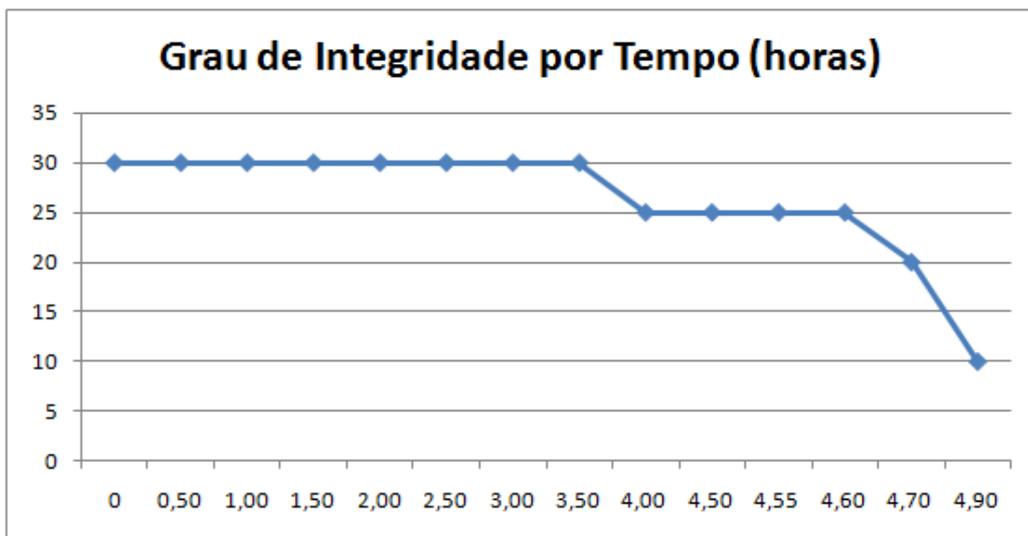


Figura 2: Tempo de Descarga da Bateria

É fácil perceber que este resultado poderia ser previsto, utilizando métodos de predição de tempo de bateria, como apresentado em (Schneider et al., 2010) e também por métodos não lineares (Rakhmatov & Vrudhula, 2001), que são considerados mais precisos.

O primeiro método considera que o declínio da tensão fornecida pela bateria será linear. Trata-se de uma versão simplificada da realidade, porém com boa aproximação dos

valores medidos na prática. Enquanto que o segundo método considera o poder de regeneração de tensão da bateria quando ocorre momentos de repouso.

Conforme (Caprile, 2009), o módulo pode operar de forma mais econômica, através da configuração de ciclos de sono, no qual a variação dos valores de consumo elétrico produz uma corrente média. Nesta configuração, o módulo será “acordado” em determinados momentos. É esperado que este modo propicie significativa redução no consumo, e amplie o tempo de autonomia da bateria. Verificou-se que a corrente média foi de 20,014mA. Para este experimento, o módulo foi configurado para ciclos de sono com 20min de dormência e 10s de atividade. Conforme análise utilizando métodos de predição, este cenário é muito próximo e se assemelha a condição máxima de consumo, apresentado anteriormente.

Conforme apresentado na Figura 3, mesmo com os ciclos de dormência, o tempo de autonomia da bateria de NiMQ de 250mA/h foi aproximadamente 10h. O valor calculado, utilizando o método de predição linear, conforme a Lei de Peukert, foi de 11h23min. Porém, com apenas 10h de funcionamento, a taxa de erro obtida foi elevada, grau 20, e em 10h30min o tráfego foi interrompido.

O método não linear (Schneider et al., 2010), apresentaria valor maior do que o medido, pois quando houvesse a diminuição da corrente, no período de dormência, a bateria sofreria o efeito de recuperação. No momento da queda do consumo, os elétrons se reorganizam de maneira uniforme no eletrólito, de modo que o sistema recupere o equilíbrio e o gradiente de concentração seja nulo na superfície do eletrodo, desta forma, aumentando a capacidade efetiva da bateria.

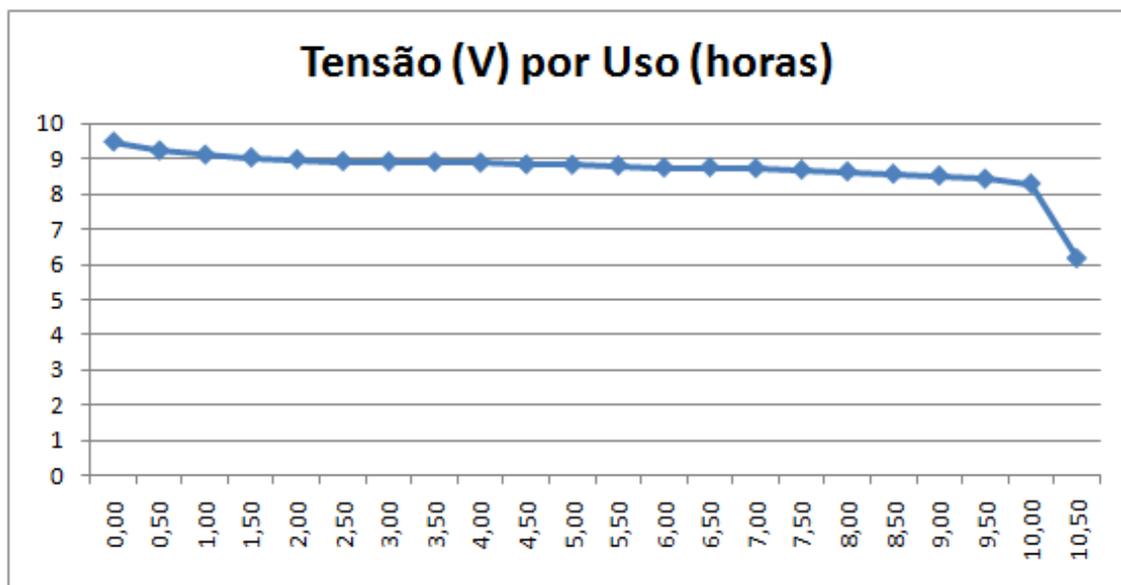


Figura 3: Tempo de Descarga da Bateria para RSSF em Dormência

Entretanto, conforme o resultado apresentado na Figura 3, o módulo sob teste, com o tempo menor do que o previsto pelo método linear já apresentou erro, mesmo sem o

término da carga da bateria. O comparativo da queda de tensão no módulo é apresentado nas Figuras 4 e 5, avaliados sem e com dormência respectivamente.

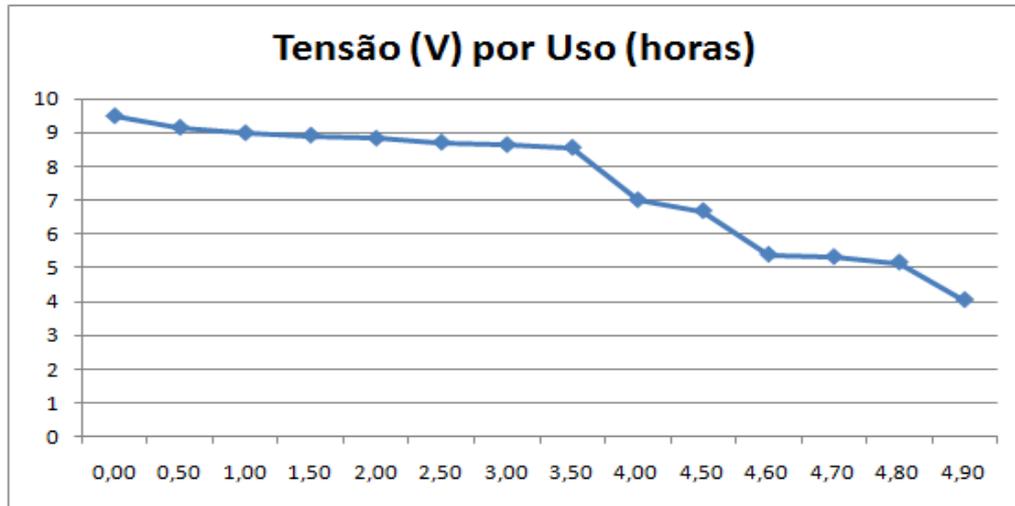
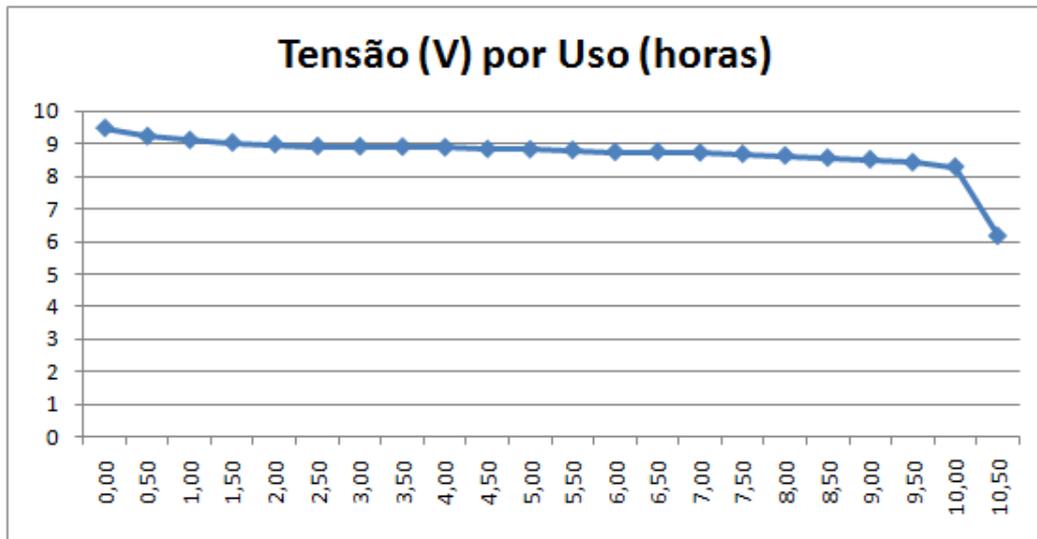


Figura 4: Queda de Tensão – sem dormência – Cenário 1

Figura 5: Queda de Tensão – com dormência – Cenário 2



Considerado as Figuras 4 e 5 é fácil perceber que, quando o tráfego ficou comprometido, a tensão de saída da bateria, com dormência, estava próxima de 6V, enquanto que no cenário sem dormência, o valor era de 4V. Isto representa a previsão de (Rakhmatov & Vrudhula, 2001), com o efeito de recuperação. Entretanto, a tensão recuperada não foi suficiente para alimentar o dispositivo no momento em que ele acordou, onde foi necessário o envio de pacotes, com transmissão ininterrupta. Esta sincronização

temporária, como foi percebido através do experimento, aumenta o consumo de energia, quando comparado com a transmissão no estado normal, acordado.

5. Tipos de Baterias Recarregáveis

O módulo de comunicação habilitado com ciclos de sono, devido a economia de energia, permite a utilização de baterias recarregáveis. Pode-se classificá-las conforme a Tabela 1.

Tabela 1: Principais Tipos de Baterias

Tipo	Vantagem	Desvantagem
NiCd (Níquel Cadmio) e NiMH (Níquel Metal Hidreto).	Durabilidade, grande número de ciclos de recarga, não restrição a descarga total.	Descarregamento a vazio (desligado), e índice alto para efeito memória (as baterias NiMH, são um pouco mais resistentes do que as de NiCd).
Baterias a base de Lítio, Li-Ion (Lítio Íon) e LiPO (Lítio Polímero).	Alta densidade energética, fabricação de baterias pequenas em relação à quantidade de carga; leveza, os mais leves; mais resistentes a defeitos de efeito memória e descarga a vazio; nenhum risco com descarga total.	Baixa durabilidade, o material tem um tempo de vencimento curto, mesmo quando não está em uso; complexidade para fabricação de carregadores e cuidados extras com manuseio. As baterias de Lítio por possuírem alta densidade energética, podem reagir com alto dano, até explosão, caso curto circuito a saída das baterias. O Lítio é um material instável no ambiente, caso haja vazamento, pode explodir.
Baterias a base de Chumbo.	Esses tipos de baterias possuem uma válvula de proteção para evitar explosão em casos de situações de risco, conhecida como proteção VRLA. Baterias seladas são indicadas para uso com carga constante, e descargas esporádicas (automóveis, no-break), ou cargas e descargas periódicas (painel solar). Não tem limitação por ciclos de carga, e efeitos de autodescarga.	As baterias de chumbo-ácidos não podem alimentar cargas muito inferiores a sua capacidade total durante períodos muito prolongados, pois pode ocorrer o problema da sulfatação, que consiste na formação ou deposição de sulfato de chumbo na superfície e nos poros do material ativo das placas, diminuindo a quantidade de material ativo da bateria, diminuindo sua vida útil. Possuem limitação quanto à descarga completa e carga rápida, podendo danificar essas baterias de forma irreversível.

6. Comparativo de Baterias

Para realizar a comparação entre os tipos de baterias, foram realizados experimentos, com os diversos tipos de bateria. Na medição da autonomia, considerou-se o tempo de descarga de cada bateria, quando utilizada na alimentação de um dispositivo da RSSF. O período entre o início da utilização, completamente carregada, até o tempo de interrupção do tráfego, devido a extinção da carga da bateria. Para realização da análise, foi utilizado o método linear Lei de Peukert.

Na pesquisa de mercado, no momento da aquisição das baterias recarregáveis, verificou-se que o custo por densidade de carga elétrica é maior nas baterias de tecnologias

mais recentes LiPO e LI-ION, enquanto que as mais baratas são as de Chumbo-Ácido. Porém, estes modelos são as mais pesadas e possuem limitações relevantes, como deficiência para descargas profundas, sulfatação e intolerância às cargas rápidas. Quando a demanda exige baterias com autonomia acima de 3A/h, a disponibilidade é maior para os modelos baseados em Chumbo-Ácido. Durante a realização dos experimentos, o efeito de sulfatação não foi observado.

O experimento foi realizado utilizando a configuração de dormência, e os valores da autonomia medidos são apresentados na Figura 6.

A bateria Alcalina, conforme análises do comparativo, tem carga suficiente para alimentar um módulo RSSF, por um período de pouco mais de um dia. Enquanto que as baterias de Chumbo-Ácido proporcionaram maior autonomia, porém, com o uso acima de 7A/h para uma carga de 20mA/h poderá haver sulfatação, o que não ocorre com os outros tipos de baterias. É importante ressaltar que a bateria Chumbo-Ácido deve ser do tipo estacionária, pois os modelos automotivos não estão preparados para o ritmo de descarga prolongada profunda (NBI-ENGENHARIA, 2012).

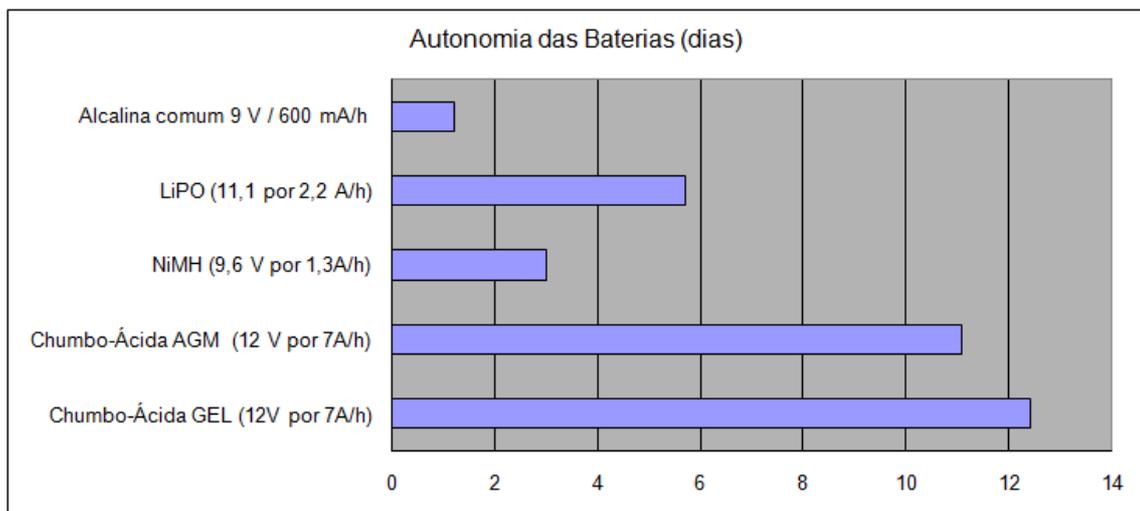


Figura 6: Autonomia das Baterias, com o modo de dormência habilitado no módulo da rede de sensor sem fio

A utilização de baterias com capacidades adequadas permite o aumento significativo da autonomia, conforme se pode observar na Figura 7.

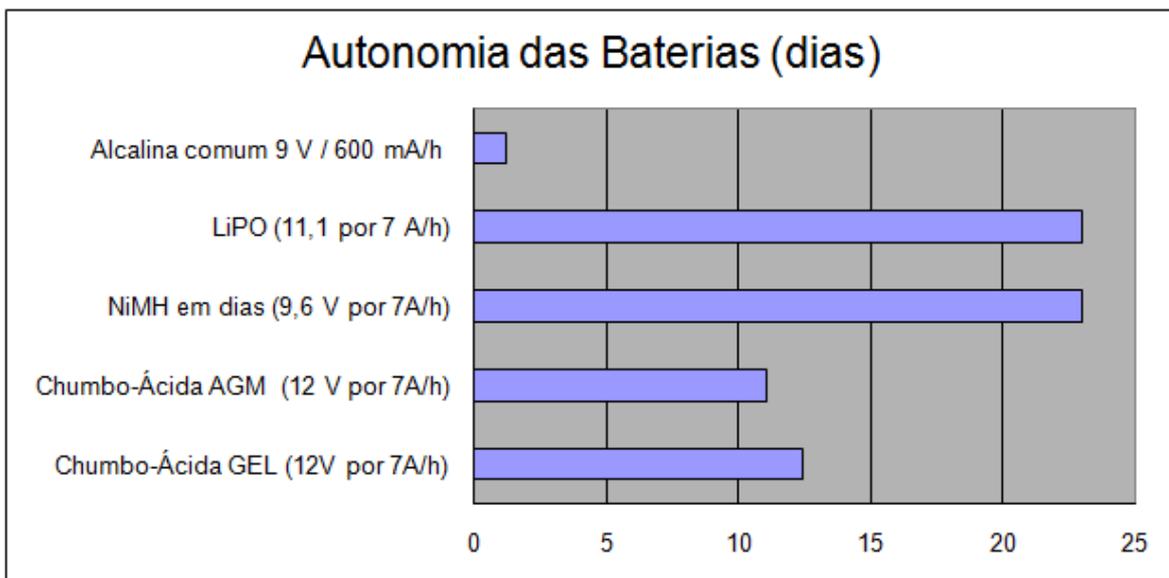


Figura 7: Avaliação da Autonomia de Acordo com as Baterias de Mercado

As baterias de LiPO e NiMH não possuem restrição quanto a descarga profunda nem a sulfatação. Desta forma, para a mesma autonomia, pode-se obter maior disponibilidade da rede, além disso, são mais leves, o que facilita o transporte e manutenção. Porém, no momento, estes tipos de baterias possuem valores mais elevados, quando analisado a capacidade de fornecimento de Amper/Hora, quando comparada com as de chumbo-ácido.

Conclusões e Trabalhos Futuros

Este estudo avaliou a autonomia de baterias utilizadas na alimentação de módulos de sensores de rede sem fio. Foram definidos cenários distintos para a aferição: um cenário com a configuração padrão, onde os dispositivos estiveram sempre ligados, e outro cenário com a habilitação da dormência, onde o dispositivo alterna entre o funcionamento e períodos de economia energética.

Percebeu-se que a configuração dos ciclos de sono, no módulo do sensor da rede sem fio, propiciou economia relacionado ao consumo de energia. Porém, tal efeito está condicionado ao valor de consumo no estágio de dormência, pois o dispositivo não é desligado completamente. Foi possível medir o valor da corrente, estes dados deverão ser considerados em projetos futuros, propiciando melhoria na escolha de baterias.

A realização dos experimentos permitiu observar que as baterias de Lítio apresentaram maior vantagem, pois não estão suscetíveis ao efeito memória, sulfatação, descarga espontânea e não apresentam restrição à descarga profunda, além da disponibilidade e facilidade de aquisição no comércio local.

Sugere-se como trabalhos futuros a realização do estudo com a inclusão de maior número de sensores, com o aumento do tráfego na rede. Além disso, é interessante verificar se a utilização de outros dispositivos de captura de energia, como painel solar, influência a

autonomia do sistema. E finalmente, a verificação do comportamento de uma rede de sensores sem fio em um ambiente real.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo a Pesquisa do Mato Grosso – FAPEMAT pelo apoio financeiro. Agradece ainda ao estudante Lucas Ramalho, ao Prof. Dr. Valterley Moura e ao técnico de laboratório Edivaldo Amaral Gonçalves, pelo auxílio prestado nas medidas de precisão realizadas nos experimentos.

Referências Bibliográficas

- ALBACORE. (2010). Manual INT700 XBee Placa USB e Serial. São Paulo. Retrieved from <http://www.albacore.com.br>
- Caprile, S. R. (2009). Desarrollo de Aplicaciones con Comunicación Remota Basadas en Módulos ZifBee y 802.15.4 (p. 341). Gran Aldea Editores - GAE.
- DIGI. (2010). Datasheet XBee / Xbee PRO RF Modules. San Diego CA. Retrieved from <http://www.digi.com>
- DIGI. (2013). X-CTU Configuration & Test Utility Software. Retrieved March 27, 2013, from http://ftp1.digi.com/support/documentation/90001003_A.pdf
- Energizer Battery Manufacturing. (2012). Alkaline Manganese Dioxide - Handbook and Application Manual. Energizer.
- Freitas, A. F. S., De Oliveira, R., Ramalho, L. A., Nascimento, V. E., & Ferreira, E. W. T. (2011). Avaliação da Conectividade de Sensores Sem Fio em Ambiente Real Indoor. In Conferência Ibero-Americana IADIS WWW/Internet 2011.
- Kostin, S., & Amorin, C. L. (2007). Transmission Power Control for Wireless Sensor Networks in Scenarios with Obstacles. In 25 Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores SBRC (pp. 337–350).
- Nascimento, V. E., Ramalho, L. A., Oliveira, R., Ferreira, E. W. T., & Shinoda, A. A. (2011). Aplicação da Estratégia de Medição Estendida de Dados em Redes de Sensores Sem Fio. In DINCON 2011 10a Conferência Brasileira de Dinâmica, Controle e Aplicações (pp. 643–646). doi:<http://dx.doi.org/10.5540/DINCON.2011.001.1.0164>
- NBI-ENGENHARIA. (2012). Estudo Comparativo de Baterias: Estacionárias x Automotivas. Belo Horizonte. Retrieved from <http://www.nbirep.com.br/baterias1.php>
- Rakhmatov, D., & Vrudhula, S. (2001). An Analytical High-Level Battery Model For Use in Energy Management of Portable Electronic Systems. In 2001 IEEE/ACM international conference on Computer-aided design (pp. 488–493).
- Schneider, K. K., Sausen, P., & Sausen, A. (2010). Análise Comparativa de Modelos Analíticos para Predição do Tempo de Vida de Baterias em Dispositivos Móveis. In 9th Conference on Dynamics, Control and their Applications.

- Silva, C., De Oliveira, R., Nascimento, V. E., Shinoda, A. A., & Ferreira, E. W. T. (2011). Desenvolvimento de uma Ferramenta Didática para o Gerenciamento de Redes de Sensores Sem Fio Zigbee. In : XXXIX Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia - COBENGE. Blumenau.
- Siqueira, I. G., Ruiz, L. B., Loureiro, A., & Nogueira, J. M. (2004). Um Serviço de Gerenciamento para Controle de Densidade de Redes de Sensores Sem Fio. In 22 Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores SBRC (pp. 249–262). Retrieved from <http://homepages.dcc.ufmg.br/~isabela/papers/MannaControlSiqueira.pdf>
- Trindade, R. H. L. (2006). Estudo das Características de Baterias Recarregáveis Possíveis de Serem Utilizadas no Projeto Satélite Universitário, ITASAT. In 12 O Encontro de Iniciação Científica e Pós-Graduação d o ITA – XII ENCITA.