

PBP - Um Protocolo Baseado em Políticas para controle eficiente de energia em Redes de Sensores Sem Fio

Mauricio Henning^{1,2}, Mauro Fonseca², Anelise Munaretto³

¹Centro Universitário – Católica de Santa Catarina
CEP 89.254-430 – Jaraguá do Sul – SC – Brasil

²Programa de Pós Graduação em Informática Aplicada (PPGIA)
Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR)
CEP 80.215-901 – Curitiba – PR – Brasil

³Departamento Acadêmico de Informática (DAINF)
Curso de Pós Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)
CEP 80.230-901 – Curitiba – PR – Brasil

{mauricio.henning,mauro.fonseca}@ppgia.pucpr.br, anelise@utfpr.edu.br

Abstract. *This article presents the PBP (Policy-Based Protocol) for wireless sensor networks. Its main objectives are to increase the lifetime of the network and improve data delivery rate making efficient use of energy. This is achieved through the implementation of policies for managing the transmission intervals of observed events and the routing protocol that uses techniques from network optimization, through multiple pathways and clustering for data delivery to the sink in accordance with policy applied. The PBP was compared with routing protocols proposed in the literature using similar techniques. The results show that the PBP presents the best performance among evaluated protocols concerning the lifetime of sensor.*

Resumo. *Este artigo apresenta o PBP (Protocolo Baseado em Políticas) para redes de sensores sem fio. Seus principais objetivos são aumentar o tempo de vida da rede e melhorar a taxa de entrega dos dados fazendo uso eficiente de energia. Isso é alcançado através da aplicação de políticas para o gerenciamento dos intervalos de transmissão dos eventos observados e no protocolo de roteamento que utiliza técnicas de otimização da rede, através de múltiplos caminhos e formação de clusters para entrega dos dados até o coletor conforme a política especificada. O PBP foi comparado com protocolos de roteamento propostos na literatura que utilizam técnicas semelhantes. Os resultados obtidos demonstram que o PBP apresenta o melhor desempenho considerando o tempo de vida dos nós sensores entre os protocolos avaliados.*

1. Introdução

Redes de Sensores Sem Fio - RSSF (*Wireless sensor networks* - WSN) são definidas como um conjunto de nós sensores distribuídos em um campo de observação, que têm por objetivo principal capturar informações (fenômeno) e transmiti-la a um observador, que processará a informação [Akkaya and Younis 2005].

Novas pesquisas em microeletrônica têm colaborado para o desenvolvimento de sensores cada vez menores, que geralmente são equipados com sistemas de comunicação sem fio e processamento de sinais elétricos em digitais. Esses sensores são utilizados em diversas áreas tais como a militar, indústria, saúde, agricultura, controle de fenômenos ambientais [Krzhizhanovskaya et al. 2011].

O consumo de energia é um dos principais temas que tem chamado interesse pela comunidade acadêmica, sendo que esta especificação em RSSF está diretamente relacionada ao tempo de vida útil da mesma, pois, em grande parte destas redes, os nós sensores são equipados com baterias e sua carga ou substituição não é uma tarefa fácil.

Administrar tais recursos necessários para sobrevivência da RSSF pode ser executado por meio de um conjunto de regras (políticas) com procedimentos para aplicação nos nós sensores, conforme os valores dos fenômenos observados, de modo adaptável às necessidades, sendo que tais políticas podem ser atualizadas dinamicamente sem interferência humana nos nós sensores [Andrade and Westphall 2004].

O objetivo deste trabalho consiste na utilização do uso de políticas para o gerenciamento de energia dos transeptores em redes de sensores sem fio, sendo as operações de transmissão e recepção de mensagens os maiores consumidores de energia entre os componentes de um nó sensor [Correia et al. 2005]. Por este motivo foi proposto o protocolo PBP (Protocolo Baseado em Políticas) adaptado a partir do protocolo PEQ (*Periodic Even-driven, Query-based*) [Pazzi et al. 2004], um protocolo de baixa latência e tolerante a falhas para o uso em RSSF.

2. Caracterização do Problema

O consumo de energia é um dos fatores importantes para prolongar a vida útil da rede de sensores. Para isso os projetos de protocolos implementam métodos para economia de energia na diminuição de comunicação de pacotes enviados, na melhor organização da rede e no sincronismo dos dados.

Em Correia et al. [Correia et al. 2005], os autores classificam os métodos utilizados para redução de energia despendida durante o processo de comunicação dos nós sensores. A quantidade de informações transmitidas ao coletor pode ser reduzida por métodos de agregação/fusão, além da compactação de dados.

Na Figura 1 extraída de [Correia et al. 2005], os autores classificam os métodos utilizados para redução de energia despendida durante o processo de comunicação dos nós sensores, que são descritos a seguir.

- *Redução do tráfego de dados*: como citado anteriormente, a quantidade de informações transmitidas ao coletor pode ser reduzido por métodos de agregação/fusão, além da compactação de dados, onde na fusão os dados recebidos pelo nó sensor são incorporados as suas informações e encaminhados em um único pacote de dados. Na agregação o nó recebe informação de seu vizinho e executa um processamento desta informação, agregando-a a seus dados e enviando ao coletor, também reduzindo o tráfego da rede. A compressão é o método onde o nó sensor se utiliza de algoritmos de compactação para diminuir os dados a serem transmitidos. No processamento colaborativo os nós sensores se ajustam para evitar que informações redundantes trafeguem na rede. Este ajuste acontece

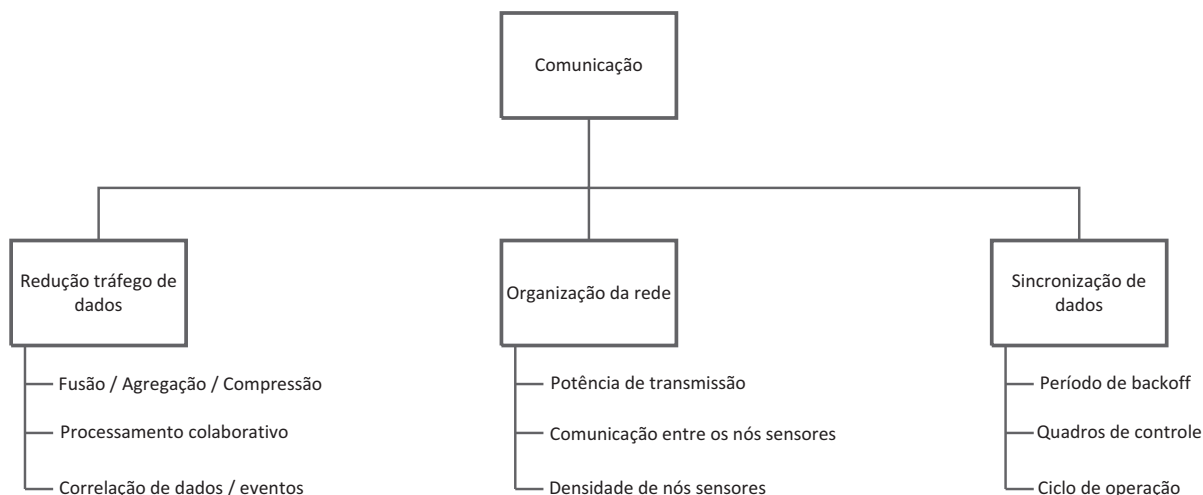


Figura 1. Operações de Redução de Energia em RSSF [Correia et al. 2005]

através de calibração dos nós sensores na rede. Em redes onde há vários sensores próximos realizando o mesmo monitoramento, pode haver a transmissão da mesma informação observada por vários nós, a correlação dos dados evita este tipo de informação redundante através de supressão e filtragem de dados para se reduzir o tráfego. Em Agnoli et al. [Agnoli et al. 2008] a técnica de agregação e fusão dos dados de sensores é utilizada como forma de redução de energia consumida pela rede.

- *Organização da rede*: a topologia influencia na economia de energia despendida dos nós sensores, portanto a potência de transmissão está relacionada ao alcance dos rádios. Quanto maior a potência, maior o alcance e maior o consumo de energia. O artigo [Chen et al. 2010] trata sobre a maximização da vida útil da RSSF. A comunicação entre os nós sensores pode ser direta quando o nó sensor se comunica diretamente com a estação base ou coletor, também chamada de *single-hop*, ou indireta, quando nós sensores comunicam-se entre si para alcançar o coletor, chamado de *multi-hop*. Segundo Heinzelman et al. [Heinzelman et al. 2000], quanto maior a densidade do número de nós sensores, maior será a precisão dos dados, obtendo-se uma melhor tolerância a falhas dos sistemas. Já segundo Tilak et al. [Tilak et al. 2002] esse aumento de densidade contribui para taxas de colisões maiores.
- *Sincronização dos dados*: métodos utilizados para evitar colisões na rede como os períodos de *backoff*, onde os nós sensores detectam que há transmissões de outros nós sensores e aguardam um tempo para transmitir suas informações. Já os quadros de controle definem tempos para cada nó transmitir e receber suas informações. Nos ciclos de operação os nós sensores alternam sua atividade em períodos de transmissão e estado de dormência, diminuindo assim o consumo de energia. Em [Zou and Lu 2012] os autores apresentam um método para sincronização de tempo e as formas para atingir esse sincronismo.

3. O Protocolo Baseado em Políticas – PBP

Alguns autores como Ruiz et al. [Ruiz et al. 2003], Qwasmi e Liscano [Qwasmi and Liscano 2012] e Rantos et al. [Rantos et al. 2012] têm utilizado políticas

para gerenciamento de redes de sensores sem fio para obter informações dos nós sensores, verificar seus recursos e gerenciar a troca de mensagens entre os nós sensores.

Estes protocolos atendem a uma necessidade específica para quais foram implementados, mas estes não possuem um mecanismo eficiente de controle de energia em seus nós sensores com relação ao monitoramento de eventos. Devido a isso o PBP foi proposto utilizando técnicas de gerenciamento por políticas para controlar o consumo de energia nas operações de transmissão e recepção de mensagens, assim aumentando o tempo de vida da rede, podendo atuar em períodos de sazonalidade com diferentes necessidades de monitoramento.

A Figura 2 ilustra os componentes que compõem o protocolo PBP, onde na primeira parte encontra-se o coletor que é responsável pela decisão das políticas a serem aplicadas nos nós sensores e pelo armazenamento das informações coletadas, chamado também de Ponto de Decisão da Política (*Policy Decision Point*)– PDP. A segunda parte é composta pelos nós sensores, responsáveis pelo sensoriamento e transmissão dos dados ao coletor, chamados de Pontos de Aplicação da Política (*Policy Enforcement Point*) PEP.

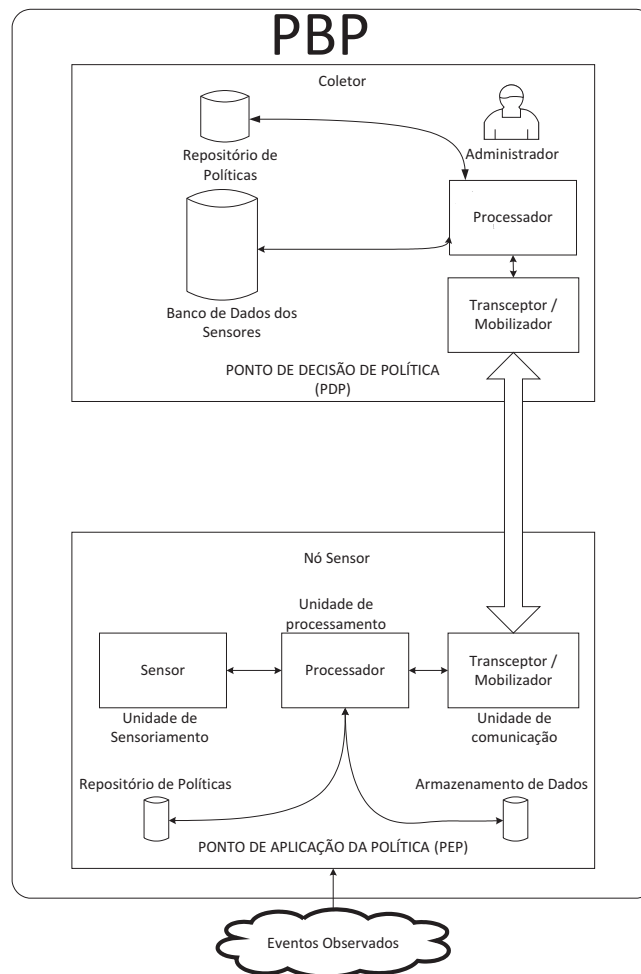


Figura 2. Componentes do Protocolo PBP

Inicialmente, o coletor controla todas as informações recebidas dos nós sensores

através do processador e armazena em um banco de dados, para posterior consulta do administrador, que é a pessoa responsável pelo gerenciamento do sistema, e definição das políticas a serem utilizadas na rede e distribuídas pelo protocolo PBP. Outra função do processador no coletor é o gerenciamento da topologia da rede, auxiliando na criação das rotas entre os nós sensores e reiniciando a rede em caso de falhas. O nó sensor, que representa a segunda parte da Figura 2, é composto de três componentes básicos: unidade de sensoriamento, unidade de processamento e unidade de comunicação (transceptor/mobilizador). A unidade de sensoriamento é composta por sensores que capturam as informações e transferem os dados observados para a unidade de processamento.

A unidade de processamento é responsável pelo armazenamento, gerenciamento e aplicação das políticas transmitidas pelo PDP. Essas políticas são armazenadas em um repositório. Os dados coletados pelos nós sensores são processados e armazenados em um componente para posterior transmissão. A unidade de comunicação é responsável pela transmissão/recepção dos dados (transceptor). A função de mobilizador da unidade de comunicação tem a tarefa de 'acordar' o nó sensor para realização de tarefas atribuídas de acordo com a configuração pela unidade de processamento.

3.1. Funcionamento da Arquitetura

O fluxograma da Figura 3 apresenta as fases e mensagens utilizadas pelo protocolo PBP para controle e gerenciamento dos nós sensores. Onde na primeira fase a tabela de roteamento é gerada nos nós sensores, iniciada por uma mensagem de inundação para configuração inicial da rede, criando o que o protocolo PEQ descreveu como árvore de saltos [Pazzi et al. 2004], sendo que um nó sensor tem apenas informações de seus vizinhos mais próximos, sem uma visão geral da rede.

A árvore é iniciada pelo coletor, que envia aos seus vizinhos uma mensagem de transmissão de contador, que é incrementado a cada nó que o contador passa. Na rede os nós sensores, além de coletarem informações, podem atuar como replicadores, retransmitindo informações de outros nós sensores, realizando fusão e agregação de dados.

Como em redes de sensores sem fio a comunicação é feita através de sinais de Rádio Frequência (RF), o PBP utiliza regras como as utilizadas no protocolo PEQ para evitar o congestionamento de mensagens, por exemplo, na fase de inicialização da rede, onde um nó sensor ao receber uma mensagem de transmissão de contador para criação da tabela de roteamento dos nós sensores, compara este valor com o que tem armazenado. Se o contador for maior que o recebido, o nó sensor atualiza seu valor e transmite ao seu vizinho. Caso contrário, esse valor é descartado e a mensagem é eliminada. Isso é feito para a criação da tabela de roteamento do nó sensor, como já descrito, onde o nó sensor tem como rota o nó sensor mais próximo a este, diminuindo assim a energia gasta pela transmissão.

Nessa fase de inicialização também acontece a criação dos *clusters* de sensores, cujo conceito é utilizado por protocolos hierárquicos como em Heinzelman et al. [Heinzelman et al. 2000]. Onde pode-se ter *clusters* atuando de formas distintas, evitando o congestionamento de toda rede com a inundação de determinadas mensagens a áreas que não tenham interesse.

A utilização de *clusters* de sensores tem por objetivo também a economia de energia, muito útil para RSSF com grande número de sensores e grandes regiões geográficas.

O PBP possibilita a utilização ou não de *clusters*, podendo adaptar-se a vários tipos de redes.

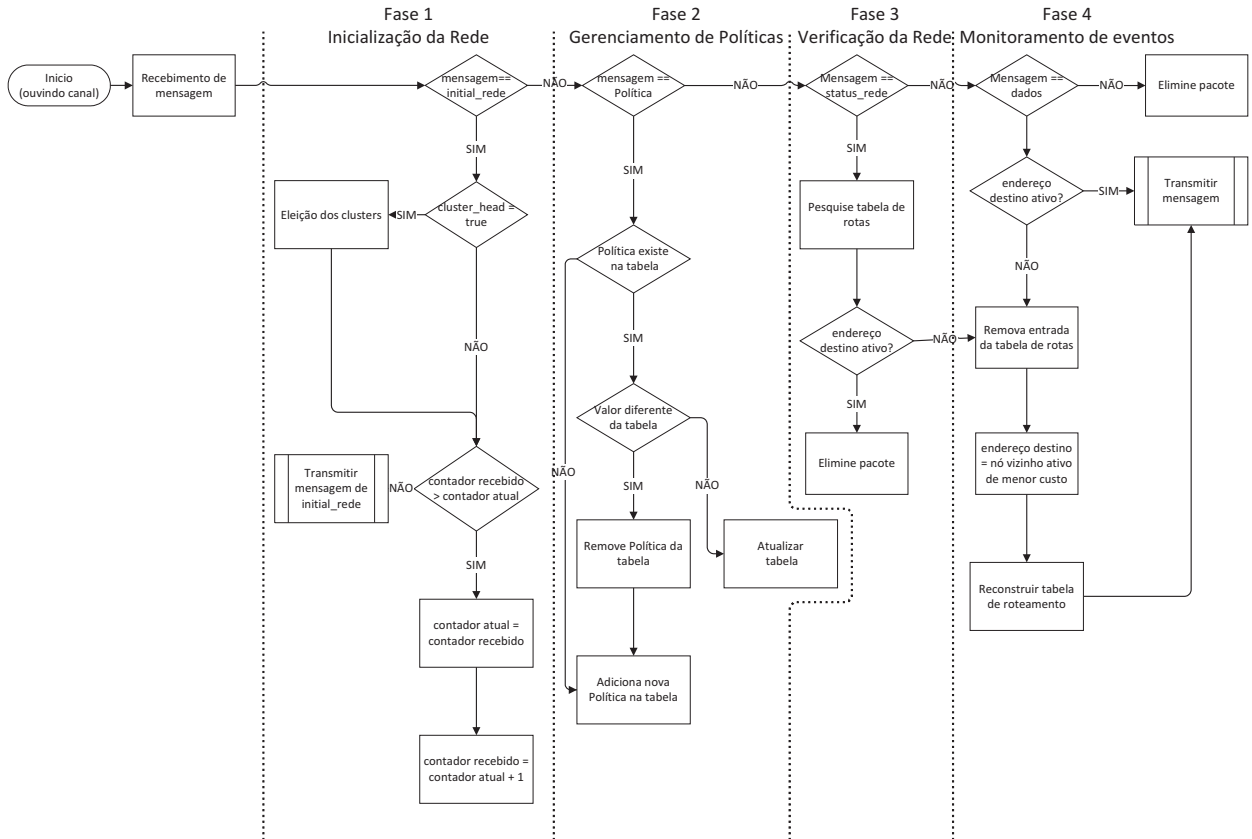


Figura 3. Diagrama de troca de mensagens do protocolo PBP

Logo após a configuração da topologia da rede com a criação das rotas dos sensores, inicia-se a segunda fase do fluxograma da Figura 3, onde as políticas de gerenciamento da rede são encaminhadas aos nós sensores através de mensagens encaminhadas pelo coletor.

As políticas podem ser disseminadas para toda a rede ou grupos de *clusters* específicos. O nó sensor, ao receber esta mensagem, verifica em seu repositório de políticas se esta existe. Se positivo, ele substitui pelos valores recebidos, caso contrário a nova política é inserida neste repositório. A seção 3.2 trata como o protocolo PBP utiliza tais políticas de gerenciamento da rede.

A terceira fase do fluxograma refere-se ao monitoramento do *status* da rede. Nesse processo o protocolo PBP faz uma monitoração periódica da rede para verificar se os nós sensores ainda estão ativos, podendo refazer o roteamento de dados dos sensores. O coletor utiliza de mensagens de '*status de rede*' para verificar se os nós sensores continuam ativos, dessa forma o protocolo PBP pode restabelecer possíveis falhas da rede, refazendo a tabela de roteamento dos nós sensores. Esse mecanismo pode ser acionado pelo coletor ao verificar possível falha em um nó sensor, quando não há recebimento de informações. E quando detecta o baixo nível de energia em um determinado nó sensor que pode causar falha na rede, uma vez que a energia residual dos nós sensores são transmitidas. Dessa

forma o protocolo controla esses intervalos de monitoramento, evitando que mensagens não necessárias sejam disseminadas pela rede.

Na quarta e última fase há o início do processo de coleta de informações dos fenômenos observados pelos nós sensores, onde mensagens de dados são encaminhadas. Os valores observados são comparados com as condições utilizadas pelas políticas e conforme os critérios utiliza a ação determinada por essa política. Ao receber uma mensagem do tipo de dados, o nó sensor pode agregar essa informação aos seus dados e transmitir ao endereço ativo de sua tabela de roteamento, antes de transmitir ele verifica se o endereço está ativo, caso contrário pode refazer sua rota. Quando o tipo de mensagem não é identificado pelo protocolo PBP ocorre a eliminação desse pacote, evitando que continue trafegando pela rede.

3.2. Políticas de Gerenciamento de Redes no PBP

Conforme já citado, políticas são regras para administrar, gerenciar e controlar os recursos de rede. O protocolo PBP utiliza o *Policy Framework Definition Language* - PFDL (Linguagem de Definição de Estrutura Política) descrito por Westerinen et al. [Westerinen et al. 2001] para expressar as regras de gerenciamento da rede. O PFDL expressa listas condicionais, onde os valores observados pelos nós sensores são comparados e ações sobre esses valores são atribuídas no nó sensor.

O PDP distribui as políticas através de mensagens, com já ilustrado na Figura 3, onde o nó sensor, ao receber uma mensagem identificada como de política, verifica em seu repositório a existência ou não dessa política para armazenamento.

Caso a política já exista no repositório, o PBP elimina os dados existentes e insere os novos registros. O Algoritmo 1 descreve essa funcionalidade, onde têm-se os dados de identificação da política, a condição para uso da política que é uma instrução de decisão, a ação a ser aplicada e o escopo é o endereço no qual a política será aplicada.

As regras das políticas geralmente são condições simples que não exigem muito processamento pelos nós sensores, o que não exige maior processamento e consequentemente menor consumo de energia. Tais regras são formadas por:

- **Condição:** SE *valor observado* $\geq z$ E *valor observado* $\leq y$ ENTÃO
- **Ação:** *intervalo de transmissão* = tempo
- **Escopo:** LOCAL

Onde, no exemplo acima, conforme fenômenos observados, o nó sensor compara o '*valor observado*' com limites estabelecidos pelo PDP (z,y), e altera o '*intervalo de transmissão*' do transceptor entre uma mensagem e outra, dessa forma controlando de forma eficiente o consumo de energia da rede.

Outra característica importante na arquitetura proposta pelo PBP diz respeito às políticas que podem ser atualizadas dinamicamente pelo nó sensor, sem que haja interferência humana, diferente de protocolos que possuem esses valores de limites fixos na programação do nó sensor e tais alterações necessitam da intervenção humana para substituição desses limites.

Na Figura 4 observa-se o modelo de referência o qual o PBP utilizou para implantar o gerenciamento de políticas em sua arquitetura, onde as políticas são definidas

Algoritmo 1 Recebimento de Mensagem de Política

```

1: myaddress ← nsaddrt;
2: myclusterid ← clusterid;
Require: receive(msg_type);
3: if msg_type == 'policy_msg' then
4:   if myaddress == scope OR myclusterid == scope OR scope == NETWORK then
5:     //armazena os valores recebidos da mensagem no objeto policy
6:     policy.policyID = policyID;
7:     policy.condition = condition;
8:     policy.action = action;
9:     policy.scope = scope;
10:    //verifica se a política existe na tabela
11:    pid = policyTable.lookup(policy.policyID);
12:    if pid then
13:      policyTable.rm_entry(policy.policyID); // remove item da tabela
14:    end if
15:    //insere valores na tabela de políticas
16:    policyTable.add_entry(policy.policyID, policy.condition, policy.action, policy.scope);
17:  end if
18: end if

```

pelo administrador e armazenadas em um banco de dados, para posterior distribuição pelo PDP aos nós sensores (PEP).

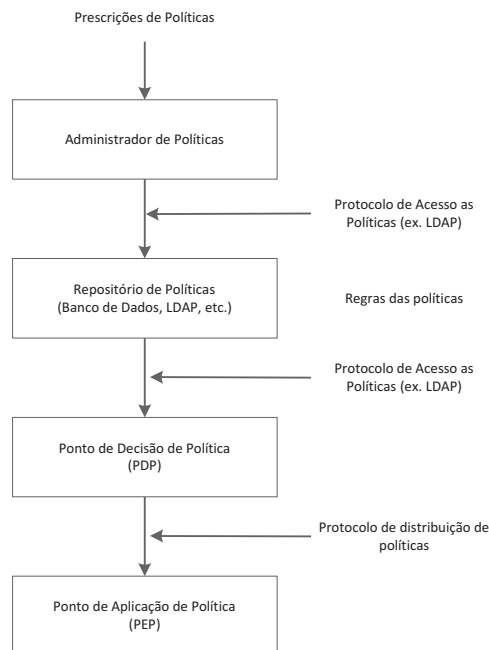


Figura 4. Modelo de Referência do PFDL [Westerinen et al. 2001]

4. Metodologia e Resultados

Esta seção descreve a investigação da avaliação de desempenho do protocolo PBP através de um conjunto de experimentos de simulação, onde o simulador NS-2 [Fall and Varadhan 2007] foi modificado e os protocolos implementados. Os resultados são comparados a outros protocolos utilizados por redes de sensores, como PEQ [Pazzi et al. 2004] e o protocolo hierárquico LEACH [Zhang et al. 2007].

O *Periodic, Event-driven, Query-based* (PEQ), sugere um protocolo para monitoramento de condições críticas, que utiliza um algoritmo tolerante a falhas e de baixa latência, como por exemplo o monitoramento de áreas de segurança em uma casa de detenção. O protocolo utiliza o caminho mais rápido para entregas dos dados e possui um mecanismo de reconfiguração de rede que garante a tolerância a falhas. O algoritmo de roteamento implementa uma árvore de nós sensores, onde um nó sensor tem apenas informações de seus vizinhos mais próximos, não tendo visão geral da rede.

O algoritmo PEQ apresentou bons resultados comparados com o paradigma do *Direction Diffusion* apresentado em [Intanagonwiwat et al. 2003] para monitoramento de situações que envolvem emergência.

Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH) é um dos mais populares algoritmos de roteamento hierárquico para redes de sensores. Ele baseia-se na premissa de formar grupos de sensores com base na potência do sinal recebido e utilizam de *head-clusters*, que farão o processamento de agregação/fusão e transmissão dos dados para o coletor, funcionando como um tipo de roteador, economizando assim energia dos demais.

Esses *cluster-head* são escolhidos aleatoriamente, utilizando de uma Distribuição de Bernolli, ao longo do tempo a fim de equilibrar a dissipação de energia entre os nós. LEACH apresenta bons resultados em relação ao uso de energia pelos nós sensores, como ele é distribuído não precisa conhecer toda a rede, mas faz uso de mecanismo de *single-hop* para roteamento e cada nó sensor pode transmitir direto para o *cluster-head*.

4.1. Cenário da simulação e métricas

O cenário da simulação apresentado é formado por uma rede de 100 nós sensores distribuídos de forma aleatória em uma área com limites definidos. Para que houvesse a mudança das políticas dos nós sensores foram simulados eventos para que o comportamento da rede fosse equivalente ao ambiente real em estudos do município de Jaraguá do Sul/SC, com relação à quantidade de chuvas ocorridas durante um ano, ou seja, o tempo de simulação foi dividido em 52 partes, equivalente às semanas.

Os valores de limites utilizados pelas políticas no experimento foram baseados em estudos reais realizados pela Defesa Civil do município para monitoramento de encostas que sofrem ação das chuvas. Esses índices de correlação de *chuva x deslizamento* [Defesa Civil 2012] estão demonstrados na Tabela 1. Esses parâmetros foram utilizados no cenário de simulação avaliado.

Os rádios transmissores utilizados nas simulações utilizam o padrão IEEE 802.15.4 com capacidade de transmissão de até 38,4 Kbps e com raio de alcance de 108 metros. A mobilidade não foi considerada nos cálculos de consumo de energia dos protocolos analisados PEQ [Boukerche et al. 2004] e LEACH [Zhang et al. 2007], uma vez que torna o protocolo complexo e com um custo energético maior para a rede.

Tabela 1. Estudo de correlação Chuva x Deslizamento [Defesa Civil 2012]

NÍVEL	CHUVA ACUMULADA (72h) mm		OCORRÊNCIAS
	de	a	
NORMALIDADE	0	100	Baixa possibilidade da ocorrência de deslizamentos, possibilidade da ocorrências de pequenos deslizamentos de terra/rocha localizados.
ATENÇÃO	101	120	Grande possibilidade da ocorrência de escorregamentos localizados e pontuais, podendo ser agravado nas áreas de riscos.
ALERTA	121	150	Grande possibilidade da ocorrência de escorregamentos de média proporção, podendo ser agravado nas áreas de riscos.
ALERTA MÁXIMO	acima de 151		Grande possibilidade da ocorrência de grandes escorregamentos com alto poder de destruição, principalmente nas áreas de riscos mapeadas.

Para chegar aos resultados apresentados foram realizadas em média de 15 simulações que, devido ao período de simulação, gerou um grande volume de dados para análise. As métricas analisadas para comprovar a eficiência do PBP foram a energia consumida, o atraso de entrega de pacotes e o número de pacotes descartados.

4.2. Análise de desempenho do PBP

A métrica Energia Consumida provê informações sobre o gasto de energia nos nós sensores no decorrer do tempo de simulação. Essa métrica é importante para comprovar a eficiência energética do protocolo. Nessa simulação o protocolo PBP atuou durante 32 semanas com o uso da política estabelecida, onde o intervalo de transmissão entre uma mensagem e outra era de sessenta minutos, chamada de Política 1. Na sequência, houve uma mudança dos fenômenos observados, alterando a política dos nós sensores, atuando durante 16 semanas com uma política com intervalos de trinta minutos, chamada de Política 2. Por fim, observou-se a transição de aplicação das políticas durante as quatro últimas semanas com intervalos de um minuto, a qual denominou-se Política 3.

A Figura 5 demonstra os resultados da simulação da métrica de energia consumida pelos diferentes protocolos. A curva resultante do protocolo PBP apresenta os valores com limites inferiores e superiores de intervalo de confiança de 99% e a linha de tendência calculada pela regressão linear dos valores.

Essas curvas mostram claramente que o protocolo proposto tem o menor consumo de energia ao longo do tempo, mesmo considerando a troca de políticas que seria a parte de maior custo no consumo de energia. Na Figura 5 verifica-se a transição das políticas encaminhadas pelo administrador durante a simulação, se essas estivessem armazenadas nos nós sensores, não haveria tanto gasto como o apresentado. O protocolo PBP apresentou um acréscimo de 16,84% na vida útil da rede em relação aos demais protocolos avaliados.

O protocolo PEQ utilizou valores de limites determinados no nó sensor, comportando-se conforme os valores observados e transmitindo informações a cada trinta minutos se houver necessidade. O protocolo LEACH atuou criando *clusters* de sensores entre os nós e transmitindo informações observadas conforme a leitura dos eventos acontecesse e transmitindo informações a cada trinta minutos.

Outra métrica importante utilizada para verificar o comportamento do protocolo durante a simulação foi latência da leitura do evento até a chegada do pacote no coletor,

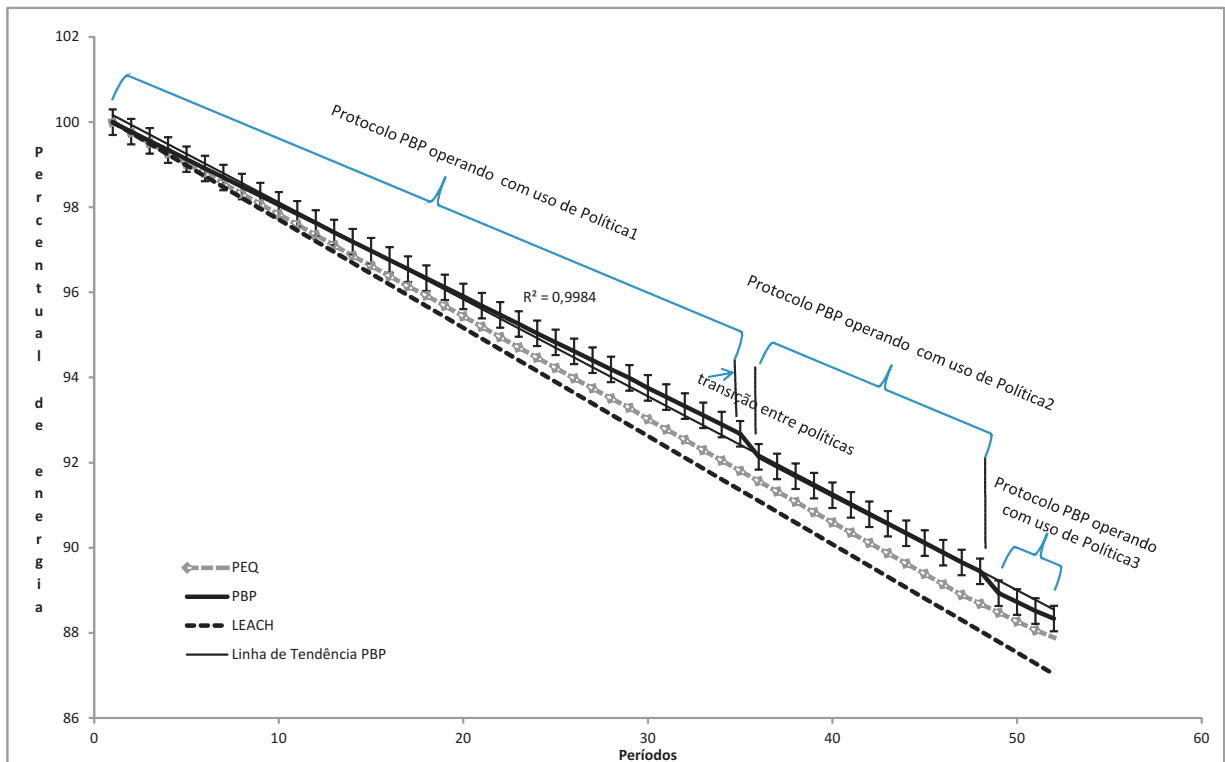


Figura 5. Comparação da Métrica de Energia Consumida

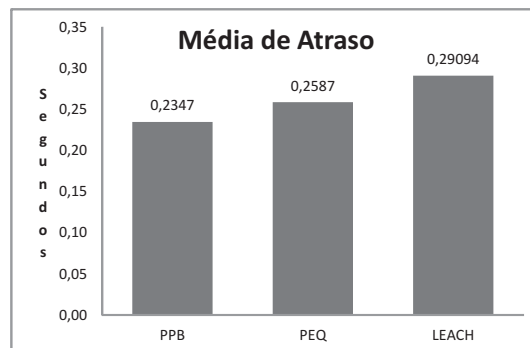


Figura 6. Comparação da Métrica de Média de atraso fim-a-fim

chamadas aqui de 'atraso fim-a-fim'. O protocolo PBP apresentou uma média de 0,2564 segundos, estando dentro da margem de erro padrão da média do protocolo PEQ e superior ao protocolo LEACH, conforme observamos na Figura 6, muito inferior aos demais protocolos avaliados.

O protocolo PBP apresentou o melhor desempenho em relação à média de atraso fim-a-fim dos demais protocolos (PEQ e LEACH) nesta métrica.

O protocolo PBP também apresentou uma baixa relação de pacotes eliminados, mostrando um rendimento de 12% contra 10% do protocolo PEQ da soma de pacotes eliminados dos testes, equivalente ao PEQ dentro da margem de erro padrão e superior ao LEACH, conforme mostra a Figura 7.

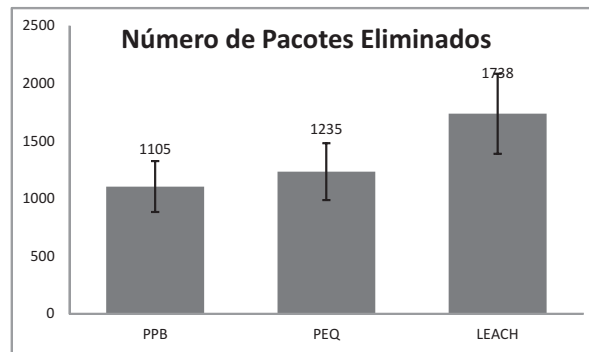


Figura 7. Comparação da Métrica de Pacotes Eliminados

Como observado nos resultados obtidos, o protocolo PBP apresenta um resultado promissor em relação aos demais avaliados. Apresentando melhor desempenho na métrica de energia consumida e na métrica de atraso fim-a-fim, demonstrando dessa forma que a utilização de políticas para o gerenciamento de energia se mostrou eficaz em comparação a protocolos que utilizem técnicas de redução de tráfego, organização da rede e sincronismo de dados como o protocolo PEQ e o protocolo LEACH.

5. Conclusão

Este artigo descreve o protocolo PBP como Protocolo Baseado em Políticas para Redes de Sensores Sem Fio, proposto para o controle eficiente de energia de uma RSSF, prolongando assim a sua vida útil. A avaliação do protocolo foi realizada utilizando um estudo de caso onde os nós sensores fazem leitura de valores pluviométricos, que interferem nos valores do nível de umidade de encostas, que é um dos fatores de deslizamento por saturação do solo. Métricas como: consumo de energia, latência e perda de pacotes foram utilizadas nas comparações entre os demais protocolos e o protocolo proposto PBP. O PBP apresentou o melhor resultado comparado aos protocolos analisados. A baixa latência dos eventos observados e entregues ao coletor também provou que o PBP pode ser utilizado para tais situações de monitoramento crítico, uma vez que apresentou também o menor valor comparado aos demais e também o tornando apto para monitoramento de eventos em tempo real.

6. Trabalhos Futuros

Para trabalhos futuros do protocolo pretende-se implementar o protocolo nos equipamentos adquiridos pela Defesa Civil do município de Jaraguá do Sul para monitoramento de áreas de risco e analisar seus resultados reais com os resultados obtidos pelos experimentos pela simulação para verificar seu desempenho. Também pretende-se adicionar funcionalidades que permitam a utilização em cenários com mobilidade. Também pretende-se ampliar o cenário de eventos observados e desenvolver um sistema de alerta para eventos climáticos críticos.

7. References

References

Agnoli, A., Chiuso, A., D'Errico, P., Pegoraro, A., and Schenato, L. (2008). Sensor fusion and estimation strategies for data traffic reduction in rooted wireless sensor

- networks. In *Communications, Control and Signal Processing, 2008. ISCCSP 2008. 3rd International Symposium on*, pages 677–682. IEEE.
- Akkaya, K. and Younis, M. (2005). A survey on routing protocols for wireless sensor networks. *Ad hoc networks*, 3(3):325–349.
- Andrade, A. T. C. and Westphall, C. B. (2004). Protocolo para distribuição de políticas de gerenciamento utilizando soap/xml. In *Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores–SBRC–IX Workshop de Gerenciamento de Redes WSRG*, pages 27–38.
- Boukerche, A., Pazzi, R., and Araujo, R. (2004). A fast and reliable protocol for wireless sensor networks in critical conditions monitoring applications. In *Proceedings of the 7th ACM international symposium on Modeling, analysis and simulation of wireless and mobile systems*, pages 157–164. ACM.
- Chen, Y., Yang, Y., and Yi, W. (2010). A cooperative routing algorithm for lifetime maximization in wireless sensor networks. In *Wireless Sensor Network, 2010. IET-WSN. IET International Conference on*, pages 167–172. IET.
- Correia, L., Macedo, D., Santos, A., Nogueira, J., and Loureiro, A. (2005). Uma taxonomia para protocolos de controle de acesso ao meio em redes de sensores sem fio. *Annales des Telecommunications.(Paris: 2005)*.
- Defesa Civil, J. d. S. (2012). Alerta de solos do município de Jaraguá do Sul/SC.
- Fall, K. and Varadhan, K. (2007). The network simulator (ns-2). URL: <http://www.isi.edu/nsnam/ns>.
- Heinzelman, W., Chandrakasan, A., and Balakrishnan, H. (2000). Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks. In *System Sciences, 2000. Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on*, pages 10–pp. IEEE.
- Intanagonwiwat, C., Govindan, R., Estrin, D., Heidemann, J., and Silva, F. (2003). Directed diffusion for wireless sensor networking. *Networking, IEEE/ACM Transactions on*, 11(1):2–16.
- Krzyszhanovskaya, V., Shirshov, G., Melnikova, N., Belleman, R., Rusadi, F., Broekhuijsen, B., Gouldby, B., Homme, J. L., Balis, B., Bubak, M., Pyayt, A., Mokhov, I., Ozhigin, A., Lang, B., and Meijer, R. (2011). Flood early warning system: design, implementation and computational models. In *Anais... International Conference on Computational Science, ICCS 2011*, Elsevier.
- Pazzi, R. W. N., de Araujo, R. B., and Boukerche, A. (2004). Um algoritmo tolerante a falhas e de baixa latência para redes de sensores sem fio. *Simpósio Brasileiro de Telecomunicações - SBT*.
- Qwasm, N. and Liscano, R. (2012). Distributed policy-based management for wireless sensor networks. *Procedia Computer Science*, 10(0):1208 – 1212. ANT 2012 and MobiWIS 2012.
- Rantos, K., Papanikolaou, A., Fysarakis, K., and Manifavas, C. (2012). Secure policy-based management solutions in heterogeneous embedded systems networks. In *Telecommunications and Multimedia (TEMU), 2012 International Conference on*, pages 227 –232.

- Ruiz, L. B., Nogueira, J. M., and Loureiro, A. A. (2003). Manna: A management architecture for wireless sensor networks. *Communications Magazine, IEEE*, 41(2):116–125.
- Tilak, S., Abu-Ghazaleh, N. B., and Heinzelman, W. (2002). A taxonomy of wireless micro-sensor network models. *SIGMOBILE Mob. Comput. Commun. Rev.*, 6(2):28–36.
- Westerinen, A., Schnizlein, J., Strassner, J., Scherling, M., Quinn, B., Herzog, S., Huynh, A., Carlson, M., Perry, J., and Waldbusser, S. (2001). Rfc 3198-terminology for policy-based management. *The Internet Society, Network Working Group*.
- Zhang, W.-y., Liang, Z.-z., Hou, Z.-g., and Tan, M. (2007). A power efficient routing protocol for wireless sensor network. In *Networking, Sensing and Control, 2007 IEEE International Conference on*, pages 20–25. IEEE.
- Zou, C. and Lu, Y. (2012). A time synchronization method for wireless sensor networks. In *Information Computing and Applications*, pages 221–228. Springer.