

CRISTIANO GATO DE REZENDE

PUBLICAR/ASSINAR EM REDES MÓVEIS AD HOC

Belo Horizonte
18 de dezembro de 2007

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

PUBLICAR/ASSINAR EM REDES MÓVEIS AD HOC

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação.

CRISTIANO GATO DE REZENDE

Belo Horizonte
18 de dezembro de 2007



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

FOLHA DE APROVAÇÃO

Publicar/Assinar em Redes Móveis Ad Hoc

CRISTIANO GATO DE REZENDE

Dissertação defendida e aprovada pela banca examinadora constituída por:

Ph. D. ANTÔNIO ALFREDO FERREIRA LOUREIRO – Orientador
Universidade Federal de Minas Gerais

Ph. D DORIVAL OLAVO GUEDES NETO
Universidade Federal de Minas Gerais

Ph. D. FÁTIMA DE LIMA PROCÓPIO DUARTE
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

Belo Horizonte, 18 de dezembro de 2007

Resumo

O desenvolvimento e a utilização de dispositivos computacionais portáteis introduziu novos modelos de rede de computadores que demandam soluções diferentes das aplicadas para o modelo tradicional onde todos os terminais de uma rede são fixos. O mais caótico desses modelos é a rede móvel ad hoc, conhecida como MANET, onde não existe nenhuma infra-estrutura previamente disponível. Dessa forma, toda comunicação deve ser feita entre dispositivos cujos rádios se alcancem mutuamente. Esse modelo apresenta diversos desafios como restrições de energia, processamento e largura de banda, conexão intermitente e dificuldade no roteamento de mensagens.

O paradigma Publicar/Assinar faz com que a comunicação entre entidades seja feita através do conteúdo da informação produzida e do interesse das entidades. Ele proporciona dimensões de desassociação (temporal, espacial e síncrona) que facilitam a comunicação no ambiente das MANETs. Porém a implantação de uma arquitetura desse paradigma nesse modelo de rede requer soluções diferentes das usualmente desenvolvidas. Soluções para redes cabeadas, ou até mesmo para redes sem fio onde já existem nós com mobilidade porém onde ainda exista uma infra-estrutura robusta de comunicação, não são aplicáveis a um cenário com uma topologia tão dinâmica e com as restrições existentes em MANETs.

Este trabalho visa propor uma arquitetura Publicar/Assinar capaz de utilizar a mobilidade dos nós que compõem uma MANET para auxiliar na tarefa de entregar as publicações submetidas aos nós interessados. A mobilidade é utilizada fazendo com que publicações recebidas por nós em um local da rede sejam propagadas em regiões diferentes após a sua movimentação. Dessa forma, com movimentação suficiente, as publicações podem ser disseminadas por toda a área da rede.

Os resultados mostraram que a arquitetura proposta teve desempenho superior a outras existentes na literatura e ainda deixou claro que ela é flexível o bastante para se adaptar a aplicações com requisitos distintos.

Abstract

The development of portable computational devices raised new network models which demand different solutions to the ones applied to the traditional model where every terminal of the network is fixed. The most chaotic model is the mobile ad hoc network, MANET, where there is not any infra-structure previously available. For this reason, every communication has to be done between devices which radios reach each other. This model present many challenges like energy, processing and bandwidth restriction, intermittent connection and difficulties on routing messages.

The Publish/Subscribe paradigm offers decoupling dimensions (time, space and synchronization) which helps the communication process on MANETs. However, implanting an architecture in such model requires solutions different from those usually developed. Solutions adequate to wired networks, or even to wireless networks where there are some mobile nodes but with a robust communication infra-structure, are not applicable to a scenario with such dynamic topology and severe restrictions like in MANETs.

This work's goal is to develop a Publish/Subscribe architecture capable of making use of MANETs' nodes own mobility to help the task of delivering submitted publications to every interested node. Mobility is used making publications received locally to be forwarded in different regions of the network after these nodes move. Therefore, with sufficient movement, publications can be disseminate through the whole network.

Results have shown that the proposed architecture had a better performance then other solutions in the literature. Besides that, it was made clear that the proposed architecture is flexible enough to adapt to applicatios with distinct requirements.

*Dedico este trabalho às pessoas que sempre acreditaram em mim e sempre me apoiaram:
meus pais e a minha irmã.*

Agradecimentos

Antes de qualquer outra coisa, eu gostaria de agradecer em especial aos meus pais. Desde os meus primeiros anos de vida, eles foram duas pessoas que sempre me apoiaram e incentivaram a estudar e a viver experiências que me tornassem uma pessoa mais sábia e madura. Eles me criaram com muito amor, carinho, respeito, confiança e alegria. Por todas as coisas que sempre me proporcionaram, a única forma de retribuir é me esforçando para oferecer as mesmas oportunidades aos meus próprios filhos. Muito obrigado por tudo.

Outra pessoa mais do que especial é a minha melhor amiga, a companheira da minha vida, a minha maninha. Ela sempre me acompanhou, crescemos juntos fazendo muita bagunça, aprendendo juntos, brigando algumas vezes (coisa do passado) e amadurecemos juntos. Sempre estivemos presentes um para o outro e sempre preparados para ajudar (mesmo que a milhares de quilômetros). Algumas vezes chegamos até a superar grandes desafios para nos encontrar. Obrigado por sempre me ouvir quando eu precisava falar, por estar ao meu lado mesmo quando eu nada queria falar, por sempre me entender e me conhecer como ninguém.

Agradeço também a toda a minha família por todos os momentos de descontração e por mostrarem a importância de uma família unida e a sua força em ajudar nos momentos de dificuldade. Família que mostrou como lotar um auditório de formatura e fazer muito barulho.

Obrigado também a todos os amigos com quem nesses anos muito diverti em festas, bares e shows. Que me suportaram nos pouquíssimos momentos que exagerei levemente no consumo de bebidas alcoólicas. Aos colegas de mestrado que sempre juntos discutíamos trabalhos, opinaram sobre possíveis soluções, auxiliaram na resolução de problemas de trabalhos e até algumas vezes assumiram a parte final de trabalhos enquanto eu freqüentava importantíssimas conferências de economia em Salvador. Um agradecimento especial também ao professor Loureiro que muito me ensinou nesses 4 anos de trabalho em pesquisa.

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Publicar/Assinar - Fundamentos	3
1.2	Caracterização do Problema	6
1.3	Utilizando a Mobilidade	7
1.4	Organização do Texto	7
2	Trabalhos Relacionados	8
2.1	Redes Cabeadas	8
2.2	Redes Sem Fio	10
2.3	Redes Móveis Ad Hoc	11
2.4	Comparação com a Arquitetura Proposta	12
3	Solução Proposta	13
3.1	Considerações Iniciais	13
3.2	Arquitetura	14
3.3	Buffer de Publicações	16
3.4	Tabela de Assinaturas	17
3.5	Protocolo	18
4	Experimentos	22
4.1	Descrição do Cenário Simulado	22
4.2	Métricas e Fases de Experimentação	24
4.3	Calibragem de Parâmetros	25
4.3.1	Buffer de Publicações	25
4.3.2	Tabela de Assinaturas	27
4.4	Análise de Desempenho	32
4.4.1	Variando a Intensidade de Movimentação	35
5	Considerações Finais	38
5.1	Contribuições do Trabalho	38
5.2	Trabalhos Futuros	39
A	Modelo de Movimentação <i>Random Waypoint</i>	41

Índice Remissivo	43
Referências Bibliográficas	45

Lista de Figuras

4.1	Resultados dos experimentos de calibragem do Buffer de Publicações	28
4.2	Resultados dos experimentos de calibragem da Tabela de Assinaturas para diferentes A_{ttl}	29
4.3	Resultados dos experimentos de calibragem da Tabela de Assinaturas para diferentes A_{prob}	30
4.4	Resultados dos experimentos da solução baseada no Gossip	33
4.5	Resultados dos experimentos da PSAMANET para diferentes valores de pausa média p	37

Lista de Tabelas

4.1	Parâmetros do NS-2	23
4.2	Parâmetros para o modelo de movimentação <i>Random Waypoint</i>	24
4.3	Configurações do par (BP_{tam}, BP_{max})	26
4.4	Configurações da PSAMANET consideradas para a Análise de Desempenho . . .	31
4.5	Resultados da PSAMANET	33

Lista de Algoritmos

3.1	Receber uma mensagem	18
3.2	Tratar assinatura	19
3.3	Tratar publicação	20
3.4	Parar de mover	20
4.1	Roteamento Ad Hoc baseado em Rumor	32

Capítulo 1

Introdução

É evidente a crescente popularização do uso de dispositivos computacionais portáteis como notebooks, celulares e PDAs - abreviatura do inglês *Personal Digital Assistants* - conhecidos como *Palmtops* ou computadores de mão. Além do crescimento de sua utilização, a tecnologia relacionada a esse tipo de dispositivo vem se desenvolvendo rapidamente, levando a aparelhos cada vez mais poderosos em diversos aspectos: processamento, memória, capacidade de armazenamento, *display*, usabilidade e largura de banda. Dessa forma, uma nova gama de serviços e aplicações tornaram-se possíveis principalmente quando combinados com a mobilidade dos usuários e suas localizações.

Juntamente com o avanço tecnológico dos dispositivos, diversas interfaces de comunicação sem fio vêm se desenvolvendo, muitas vezes com objetivos distintos. Por exemplo, Bluetooth, Wi-Fi e WiMax são projetadas para conectar dispositivos em esferas diferentes, pessoal, de um edifício e de uma cidade, respectivamente. Cada uma dessas interfaces foca-se em desafios específicos para cada um desses cenários.

Existem duas formas de conectar dispositivos que utilizam interfaces de comunicação sem fio: infra-estruturada e ad hoc. A primeira é onde cada dispositivo utiliza seu rádio para comunicar com um ponto de acesso que fornece uma infra-estrutura responsável pela comunicação entre eles próprios e até mesmo entre o dispositivo sem fio e a uma rede cabeada. Essa forma de acesso é a que tem sido mais utilizada ultimamente pois possibilita a conexão imediata desses dispositivos com a Internet ou outras redes já consolidadas. Um exemplo desse modelo de comunicação é a rede de celulares onde cada aparelho conecta-se com uma antena que então, por uma rede cabeada (e o auxílio de outras antenas), conecta a um outro aparelho, à rede de telefonia fixa ou até à Internet.

A outra maneira de conectar esses dispositivos é através de comunicações entre os próprios dispositivos. Na comunicação ad hoc não existe qualquer infra-estrutura que auxilie esse processo. Essa forma de comunicação é muito mais complexa, pois a tarefa de conectar remetente e destinatário torna-se difícil dado que muitas vezes eles não estão próximos o suficiente para se comunicarem utilizando apenas os seus rádios.

Diversos desafios surgem em redes ad hoc e várias propostas vêm sendo desenvolvidas. Ramanathan (2002); Goldsmith e Wicker (2002) apontam alguns desses desafios como escala-

bilidade, restrições de energia, segurança e topologia extremamente dinâmica. Escalabilidade está relacionada a dificuldade no desenvolvimento de soluções que sejam escaláveis para um grande número de usuários espalhados por uma grande área física, cenário comum a aplicações que utilizam esse tipo de dispositivo. Por serem portáteis e desconectados de fontes externas de energia, os dispositivos móveis utilizados normalmente contam apenas com a bateria interna e, portanto, propostas para esse ambiente devem procurar economizar energia. Como o meio de comunicação utilizado é aberto (não restrito a fios), a segurança é uma questão complexa quando informações críticas ou sigilosas precisam ser enviadas. O grande dinamismo da topologia está ligado à mobilidade dos usuários que carregam os dispositivos o que inviabiliza a manutenção de rotas estáticas como é feito em redes fixas. Outro desafio ainda é o de como criar aplicações que permitam aos dispositivos mudarem as interfaces de comunicação sem fio sem afetar o seu funcionamento.

Todos esses desafios questionam a aplicabilidade de paradigmas de comunicação como o baseado na arquitetura TCP/IP. O mecanismo de comunicação via endereços fixos e através do estabelecimento de conexões robustas não é a melhor opção para um cenário onde esses endereços não ajudam na localização dos usuários e a conectividade deles é extremamente intermitente.

Diante disso, um paradigma de comunicação chama a atenção. O paradigma Publicar/Assinar (P/A) utiliza um mecanismo diferente de comunicação do tradicional remetente/destinatário. Nesse paradigma, a comunicação é feita baseada em características da própria informação enviada. Os usuários informam ao sistema o tipo de informação que têm interesse e então quando uma nova informação é produzida e enviada ao sistema, esse se responsabiliza por encontrar os interessados e entregá-la a eles. Um exemplo de um serviço que utiliza o paradigma P/A é o de um hospital onde médicos informam ao sistema os pacientes pelos quais são responsáveis e então mudanças percebidas por monitores de sinais vitais desses pacientes podem ser encaminhadas aos respectivos médicos.

Esse tipo de comunicação se torna bastante atraente para redes móveis ad hoc (em inglês *Mobile Ad hoc Networks* - MANETs) pois as partes envolvidas na comunicação não precisam se conhecerem e nem mesmo estarem conectados no mesmo instante. Dessa forma, problemas como o de endereçamento e de conexão intermitente podem ser tratados mais facilmente. Porém o desenvolvimento de uma arquitetura P/A em uma MANET deve solucionar o desafio de encontrar os usuários interessados. Esse problema é complexo já que não existe qualquer infra-estrutura que facilite esse processo. Portanto, os nós precisam agir de forma cooperativa para que as publicações alcancem os nós interessados.

Este trabalho propõe uma arquitetura publicar/assinar para redes móveis ad hoc que visa utilizar a mobilidade inerente a esse tipo de rede para realizar a tarefa de levar informações aos usuários interessados. A arquitetura proposta, chamada de PSAMANET, foi projetada para aplicações assíncronas que suportam longos atrasos como correio eletrônico, sincronização de banco de dados e alguns tipos de serviços de notificação. A proposta visa fazer com que os interessados em algum tipo de informação a recebam utilizando o menor número possível de transmissões.

A próxima seção introduz os conceitos importantes sobre o paradigma Publicar/Assinar que serão utilizados neste texto. A Seção 1.2 apresenta uma definição detalhada do problema abordado. A importância da utilização da mobilidade em soluções para redes móveis ad hoc é descrita na Seção 1.3 e, finalmente, na seção seguinte é apresentado como o restante do texto está organizado.

1.1 Publicar/Assinar - Fundamentos

Nesta seção serão apresentados diversos conceitos fundamentais do paradigma Publicar/Assinar. Alguns termos são tratados de diferentes formas na literatura, e esta seção visa definir como esses termos serão considerados no restante do trabalho evitando assim qualquer ambigüidade. Os conceitos foram agrupados em cinco conjuntos diferentes: entidades e mensagens, serviço de notificação, estruturas, dimensões de desassociação e expressividade.

Entidades e mensagens

O paradigma Publicar/Assinar trata-se de um paradigma de comunicação no qual a troca de mensagens é feita baseada no casamento entre seu conteúdo e o interesse de usuários conectados ao sistema. A infra-estrutura responsável por prover os mecanismos que possibilitam essa forma de comunicação é chamada de **arquitetura Publicar/Assinar**.

As partes envolvidas na comunicação recebem diferentes nomes. O remetente é usualmente chamado de **publicador** ou **produtor** de informação, enquanto o destinatário é conhecido como **assinante** ou **consumidor** de informação. O ato do produtor enviar ao sistema a informação produzida é chamado de **publicar**, e o objeto **publicação**. A ação de um usuário informar ao sistema seu interesse é chamada de **assinar**, e o objeto **assinatura**.

Além dos dois tipos fundamentais de mensagens, publicações e assinaturas, existem outros tipos de mensagem que normalmente são usados para melhorar o desempenho dos sistemas. O mais comum desses tipos de mensagens é o **anúncio**. Um anúncio é uma mensagem enviada pelos publicadores que informa ao sistema o tipo de informação que ele enviará futuramente. Arquiteturas que utilizam anúncio podem tanto limitar os produtores a publicarem somente informações que foram anunciadas, ou simplesmente utilizar o anúncio como uma indicação. Eles normalmente são utilizados para criar árvores de roteamento entre o publicador e os assinantes antes mesmo do envio de publicações.

Para algumas formas de se definir assinaturas é possível utilizar filtros para melhor definir o interesse dos usuários. Um **filtro** é simplesmente um conjunto de restrições onde publicações podem ou não atendê-las. Usualmente, esses filtros são intervalos de valores definidos através de operadores comuns (por exemplo, =, \neq , <, >, \leq , \geq) que podem ainda ser combinadas logicamente (por exemplo, e, ou). Esses filtros podem tanto ser o conteúdo de assinaturas quanto podem ser usados para tornar mais eficiente os algoritmos de roteamento de publicações e assinaturas.

Uma operação importante sobre assinaturas é a de **junção**. Duas ou mais assinaturas podem se juntar por meio de um filtro caso todo o conjunto de potenciais publicações que

casem com alguma das assinaturas, também casem com o filtro. É importante ressaltar que existem publicações que casam com o filtro porém não casam com nenhuma das assinaturas. Se não existir publicação que case com o filtro e não case com nenhuma assinatura, essa junção é chamada de **junção perfeita**. Junções podem agrupar também filtros, contanto que o filtro originado satisfaça a condição de casar com qualquer publicação que os filtros unidos casem. A importância de junções se deve à possibilidade de diminuir o número de verificações se uma publicação casa com as assinaturas em um nó da rede. Um filtro que é o resultado da junção de diversas assinaturas pode dispensar a necessidade de verificar se cada uma delas casa com uma publicação, quando a publicação não case com o filtro.

Serviço de Notificação

Um **serviço de notificação**, ou **serviço de notificação de eventos** trata de um sistema que provê aos seus usuários a funcionalidade de poderem publicar informações (geram eventos) e de requisitar por informações (assinar). Temos que um **evento** é simplesmente a informação produzida, enquanto **notificar** é o ato (o objeto é **notificação**) da entrega da informação ao consumidor interessado.

Para fornecer essas funcionalidades aos seus usuários, o serviço de notificação faz uso de uma arquitetura Publicar/Assinar responsável pelos protocolos de comunicação e políticas de armazenamento e organização de assinaturas e publicações. Este trabalho tem como objetivo propor de uma arquitetura Publicar/Assinar, pois, como será discutido no Capítulo 3, considerações importantes para um completo serviço de notificação não foram tratadas.

Carzaniga et al. (2001) identificam as duas atividades básicas de um serviço de notificação: seleção e entrega de notificações. O primeiro, a **seleção de notificações**, consiste na tarefa de encontrar as assinaturas que casam o interesse do usuário com o conteúdo de uma publicação recebida pelo sistema. Dessa forma uma notificação é gerada e então é necessário realizar a segunda atividade, **entrega de notificações**, que é a ação de encaminhar a notificação gerada aos respectivos assinantes.

Estruturas

Uma estrutura muito utilizada em arquiteturas P/A é a de um **broker**. Um *broker* é um aglomerado de dispositivos computacionais que é utilizado para receber, armazenar e organizar as assinaturas enviadas por usuários. Além disso, os publicadores enviam suas publicações ao sistema através do *broker*, que tem então a responsabilidade de encontrar as assinaturas que casam com essa publicação, gerar as devidas notificações e entregar aos respectivos assinantes. Usualmente, o *broker* é formado por computadores com mais recursos, dado que ele é encarregado das atividades mais complexas do sistema.

Conhecidos na literatura como **Rendezvous Points** (em português, Pontos de Encontro), esses são locais onde assinaturas e publicações se encontram. Muitas arquiteturas utilizam esses pontos para facilitar o processo de seleção de notificações, pois assinaturas e publicações que se casam são enviadas ao mesmo local.

Dimensões de Desassociação

Uma outra característica que diferencia o paradigma P/A dos demais é suas três **dimensões de desassociação** (Eugster et al., 2003): temporal, espacial e síncrona.

A **desassociação temporal** acontece devido à não obrigação de manter as duas partes de uma comunicação (remetente e destinatário) on-line ao mesmo tempo. Em P/A é possível que o produtor envie sua mensagem ao sistema em um momento em que o consumidor não está conectado. Quando um consumidor interessado se conectar, o sistema identificará um casamento entre o interesse desse e a informação publicada anteriormente. Então, nesse momento, uma notificação é gerada e entregue a esse consumidor, mesmo que o produtor já tenha se desconectado.

Além disso, produtores e consumidores não precisam se conhecer para se comunicar, essa é a **desassociação espacial**. Diferentemente de outros paradigmas tradicionais onde o remetente deve conhecer o endereço do destinatário, em P/A o produtor simplesmente submete a mensagem ao sistema e esse se encarregará de encontrar os consumidores interessados e entregar a eles a mensagem enviada.

Ainda temos a **desassociação síncrona** que trata-se do fato das partes envolvidas não precisarem pararem suas atividades aguardando por respostas da outra parte para terminar o processo de comunicação. Isso quer dizer que o fluxo de consumo não depende do fluxo de produção de informação. A ordenação dos fluxos pode tanto ser feita pelo próprio sistema P/A ou pela aplicação.

Essas três dimensões de desassociação permitem aos projetistas desenvolverem aplicações onde a comunicação entre entidades é muito mais flexível do que a tradicional comunicação remetente/destinatário.

Expressividade

A maneira como as assinaturas são relacionadas às publicações é fundamental para definir o poder de expressividade do serviço de notificação envolvido. A **expressividade** de um serviço de notificação é a capacidade de descrever com precisão o interesse dos usuários através de assinaturas. As diversas maneiras existentes podem ser divididas em três grupos: baseadas em tópicos (ou assuntos), baseadas em tipos e baseadas em conteúdo.

Serviços de notificação com assinaturas **baseadas em tópicos** são os mais simples e neles cada publicação é de um tópico e os consumidores requisitam publicações através de uma assinatura para cada um dos tópicos de seu interesse. É possível fazer com que publicações sejam de mais de um tópico, porém a arquitetura desse serviços de notificação será mais complexa para tratar esse mecanismo.

O funcionamento de assinaturas **baseadas em tipos** é semelhante ao das baseadas em tópicos. Entretanto, tipos podem formar uma hierarquia onde um tipo (por exemplo, *Esportes*) pode ter diversos subtipos (por exemplo, *Futebol*, *Basquete*, *Natação*), que também podem ter subtipos (por exemplo, *Futebol de Salão*, *Basquete Feminino*, *Modalidade Peito*) e assim por diante. Dessa forma, quando um usuário demonstra interesse em um tipo através

de uma assinatura, ele receberá qualquer publicação enviada ao sistema que seja desse tipo ou de qualquer tipo de sua subárvore. Por exemplo, uma assinatura para o tipo *Futebol* casará com publicações desse tipo ou do tipo *Futebol de Salão*, *Futebol de Campo*, etc.

Os serviços de notificação **baseados em conteúdo** possibilitam aos usuários que descrevam seu interesse baseado em propriedades das informações que desejam. Diferentemente das outras formas, esse mecanismo não limita o usuário a definir suas assinaturas através de estruturas previamente definidas por outros (como tópicos e tipos). A forma como o conteúdo é tratado depende muito da própria estrutura da publicação. Serviços desse grupo normalmente utilizam publicações que são organizadas em campos e as assinaturas definem intervalos ou conjuntos de valores para esses campos para descrever o interesse dos usuários. Essas restrições, como nos filtros, podem ser combinadas com operadores lógicos (por exemplo, e, ou) aumentando ainda mais o poder de expressão desse modelo de assinaturas.

Assinaturas baseadas em tipos e conteúdos podem utilizar filtros para melhor expressar o interesse de seus usuários, porém as baseadas em tópicos não podem pois a única junção possível seria a de combinações lógicas das assinaturas que é exatamente o mesmo trabalho de verificar todas as assinaturas.

Portanto, os projetistas devem considerar o *trade-off* entre expressividade e complexidade dessas diferentes formas de definir assinaturas. Os serviços baseados em tópicos, apesar de restringirem muito a expressividade, possibilitam o desenvolvimento de arquiteturas extremamente eficientes. Os que são baseados em tipo já possuem um poder maior de expressividade através da hierarquia de tipos e, no entanto, não possuem complexidade muito superior a da baseada em tópicos. Somente os baseados em conteúdo possibilitam a definição do interesse dos usuários de uma forma não estática. Entretanto, essas são de maior complexidade para serem tratadas, o que acarreta em um alto custo computacional.

1.2 Caracterização do Problema

A motivação deste trabalho é a utilização do paradigma publicar/assinar em redes móveis ad hoc como uma solução para os diversos desafios presentes nesse tipo de rede. Carzaniga et al. (2001) identificam as duas atividades básicas para serviços de notificação: seleção da notificação e entrega da notificação.

No modelo de rede tratado o maior desafio é o de entregar as publicações aos usuários interessados. A dificuldade na realização dessa atividade deve-se ao fato de, devido à falta de uma infra-estrutura prévia, não existir uma entidade central capaz de auxiliar publicadores e nós intermediários a encontrar os nós interessados. Até mesmo a definição de uma estrutura distribuída estável o suficiente para que as publicações sejam encaminhadas corretamente aos assinantes interessados é difícil pois a topologia da rede está constantemente se modificando.

Portanto, o problema aqui abordado é o de como, em uma rede móvel ad hoc, levar as publicações aos usuários interessados sem utilizar qualquer estrutura que necessite constantemente de reconstrução.

1.3 Utilizando a Mobilidade

A mobilidade é uma característica importante em redes móveis ad hoc. Ela faz com que a topologia da rede sofra constantes modificações tornando nós muitas vezes até inacessíveis. Porém a mobilidade também pode ser utilizada no desenvolvimento de soluções nessas redes.

Grossglauser e Tse (2002) fazem um detalhado estudo teórico e empírico de como a mobilidade aumenta a capacidade de redes sem fio ad hoc. Esse trabalho baseia-se no conceito de que essas redes são limitadas por interferências mútuas causadas por transmissões concorrentes. Grossglauser et al. avaliam essa capacidade baseando-se no *throughput* em diferentes modelos de redes sem fio.

Em redes onde os nós são fixos, os resultados em Gupta (2000) mostram que o *throughput* diminui aproximadamente na proporção $1/\sqrt{n}$ (onde n é o número de nós por unidade de área, densidade). Dessa forma, para valores grandes de n , o *throughput* tende a zero.

O trabalho de Gupta et al. (Gupta, 2000) considera redes sem fio fixas. Quando a mobilidade é adicionada o trabalho de Grossglauser et al. (Grossglauser e Tse, 2002) mostra que o comportamento é diferente. Porém, eles mostram que caso não sejam utilizados nós intermediários (nós só se comunicam em algum momento que a origem e o destino estão próximos), o *throughput* também tende a zero.

Entretanto, caso sejam utilizados nós intermediários (no trabalho é mencionado que apenas um nó intermediário é necessário), o *throughput* mantém-se constante, independentemente do aumento do valor de n .

Esse é um importante resultado pois foi mostrado que a mobilidade ajuda na escalabilidade em redes sem fio ad hoc. Mesmo para um número maior de nós, o *throughput* é mantido caso sejam utilizados nós intermediários para a comunicação entre a origem e o destino.

A arquitetura proposta neste trabalho de dissertação utiliza a mobilidade para que publicações alcancem todos os nós interessados em seu conteúdo. São utilizados também nós intermediários entre o publicador e o assinante para aumentar a probabilidade de uma publicação chegar a um interessado e tornar a arquitetura escalável.

1.4 Organização do Texto

Esse capítulo introduziu o problema tratado, descreveu superficialmente a solução proposta e definiu termos que serão utilizado por todo o texto. No Capítulo 2 são apresentados os trabalhos propostos na literatura relacionados ao conteúdo desse trabalho. A arquitetura proposta e todos os seus detalhes são descritos no Capítulo 3. No Capítulo 4 são descritos a preparação, execução e resultados dos experimentos realizados para a validação da arquitetura. Uma conclusão e a identificação de trabalhos futuros é feita no Capítulo 5.

Capítulo 2

Trabalhos Relacionados

O paradigma Publicar/Assinar já foi extensivamente estudado nos mais diversos cenários, para diferentes aplicações e diferentes modelos de rede. Esse capítulo visa analisar a evolução dos trabalhos sobre o paradigma P/A. Para isso, os trabalhos serão agrupados em três seções de acordo com o modelo de rede ao qual se aplicam.

O primeiro ambiente para o qual esse paradigma foi projetado é o de redes cabeadas compostas por nós fixos e normalmente sem restrições de processamento, memória e largura de banda. Nesse cenário, diversos conceitos fundamentais foram desenvolvidos e foi nele que os primeiros sistemas e aplicações surgiram, alguns deles são descritos na Seção 2.1. Redes que seguem esse modelo são normalmente compostas por computadores de grande porte que formam o *broker* da arquitetura e por terminais um pouco menos poderosos como publicadores e/ou assinantes.

Na Seção 2.2 são descritos trabalhos que passaram a abordar as dificuldades de se utilizar o paradigma P/A em redes sem fio. A maior diferença é que, agora, existem pelo menos alguns nós na rede que possuem restrições mais severas de processamento, memória e largura de banda. Além disso, os nós que se comunicam via o meio sem fio apresentam também problemas de desconexão constantes, devido a interferências, estar fora de alcance de qualquer ponto de acesso, etc. Dispositivos computacionais comuns a esse ambiente são semelhantes aos de redes cabeadas, porém agora, existem outros tipos de publicadores e assinantes que utilizam dispositivos como notebooks, PDAs e celulares que se comunicam via meio sem fio (por exemplo, Wi-Fi, WiMax, Bluetooth).

Em um modelo com ainda mais restrições, a Seção 2.3 cobre os trabalhos que aplicam P/A em redes móveis ad hoc. Nessas redes, os nós envolvidos podem se movimentar e não existe nenhuma infra-estrutura previamente disponível. Essas redes são compostas unicamente por dispositivos limitados como PDAs e celulares ou até com restrições maiores, como sensores.

2.1 Redes Cabeadas

O primeiro trabalho a introduzir os conceitos de Publicar/Assinar foi a proposta de programação paralela conhecida como Linda (Carriero e Gelernter, 1989). Linda define primitivas

semelhantes as de publicar e assinar. Além disso já mostra como é possível atingir as dimensões de desassociação temporal e espacial apesar de ainda não ser possível obter desassociação síncrona dado que o processo de leitura (assinatura) é blocante até que um casamento seja encontrado.

Eugster et al. (2003) apresentam um trabalho detalhado sobre os diversos empregos do paradigma Publicar/Assinar na literatura. Esse estudo analisa os diversos trabalhos da literatura baseando-se na utilização das três dimensões de desassociação mencionadas na Seção 1.1: temporal, espacial e síncrona. Esse trabalho, ainda, discorre sobre as diversas variações de arquiteturas P/A (i.e., forma de comunicação, expressividade) e sobre questões de implementação.

Carzaniga et al. (2001) desenvolveram um sistema detalhado de notificação de eventos que é escalável para grandes áreas com um grande número de usuários. Nesse trabalho eles descrevem o projeto e a análise do sistema que desenvolveram, chamado de *Siena*. Dado o alto nível de detalhamento do sistema desenvolvido, esse trabalho é uma excelente referência para entender todos os princípios e fundamentos do paradigma Publicar/Assinar. O trabalho identifica as duas principais atividades de um sistema desse tipo: seleção da notificação, que envolve o processo de encontrar as assinaturas que casam com uma publicação submetida ao sistema; e entrega da notificação, que é todo o processo de encaminhar a notificação gerada por um casamento para o respectivo assinante. Portanto, o trabalho vai desde a definição de uma linguagem para especificação de assinaturas e publicações até os algoritmos de roteamento para entrega da notificação. O trabalho também mostra como utilizar anúncios (veja Seção 1.1) para otimizar o funcionamento do sistema. Eles são utilizados para que assinaturas sejam propagadas apenas para nós que demonstraram, através de anúncios, que podem enviar publicações que casam com essas assinaturas. Várias outras considerações de otimizações, tanto para mecanismos de seleção quanto de entrega de notificação, são tratadas nesse trabalho.

Cabrera et al. (2001) apresentam uma proposta, chamada de *Herald*, que visa utilizar o sucesso da Internet e da Web para servir de base para o desenvolvimento de um serviço de notificação para se ter uma escalabilidade suficiente e suportar um grande número de publicadores e assinantes mantendo boas taxas de entrega. O sistema é baseado na utilização de *Rendezvous Points* que são locais onde assinantes podem se inscrever e publicadores submeter suas publicações. Todas as publicações enviadas a um *Rendezvous Point* são encaminhadas a todos os assinantes que se inscreveram nele. Portanto, esse trabalho não se preocupa com filtros, anúncios ou mesmo com assinaturas parciais. O objetivo dos autores é simplesmente definir e analisar uma estrutura capaz de tratar o trabalho de direcionar as publicações aos respectivos assinantes utilizando políticas de tolerância a falhas, escalabilidade e entrega rápida.

Nos trabalhos de Rowstron et al. (2001) e Castro et al. (2002), é descrita uma infraestrutura de notificação de eventos amplamente escalável. Essa infra-estrutura, chamada de *Scribe*, é definida para permitir o funcionamento de aplicações Publicar/Assinar baseadas em tópicos. Ela é escalável para suportar um grande número de tópicos e assinantes por

tópico. O Scribe é desenvolvido a partir de um sistema denominado de *Pastry*. O *Pastry* é um sistema par-a-par escalável e auto-organizável e, além disso, é uma camada de roteamento com boas propriedades de *localidade*¹. Como o *Herald*, o Scribe é desenvolvido com a preocupação de tratar diversos problemas que possam acontecer (por exemplo, desconectividade, ordenação de entrega) através de algumas políticas de tolerância a falhas. Outra semelhança com o *Herald* é a utilização de *Rendezvous Points*, porém, diferentemente dele, uma publicação quando chega a algum desses pontos é direcionada apenas a assinantes do tópico da publicação. Ou seja, um *Rendezvous Point* pode ser responsável por mais de um tópico. Entretanto, o Scribe não possui hierarquia de tópicos ou qualquer mecanismo para junção de assinaturas.

Existem diversos outros trabalhos que utilizam o paradigma Publicar/Assinar em redes fixas (Terpstra et al., 2003; Mühl, 2001; Gruber et al., 1999) porém os desafios e soluções mais comuns nesse ambiente foram descritos acima.

2.2 Redes Sem Fio

A adequada aplicação de arquiteturas Publicar/Assinar em redes sem fio requer um cuidado especial para lidar com os novos desafios existentes neste cenário. Neste modelo de rede, dispositivos que se comunicam pelo meio sem fio sofrem períodos maiores e mais frequentes de desconexão, seja por um eventual momento de interferência ou por estar fora do alcance de qualquer ponto de acesso. Além disso, muitas vezes esses nós que estão fora da rede cabeada podem se mover e trocarem de ponto de acesso.

Cugola e Jacobsen (2002) mostram que o uso de um *middleware* de comunicação baseado no paradigma Publicar/Assinar pode ser a solução para os diversos desafios existentes no ambiente móvel sem fio. Os autores mostraram como utilizar as dimensões de desassociação temporal e espacial para lidar com problemas como conexão intermitente e dificuldade de endereçamento.

As primeiras propostas para redes sem fio visavam utilizar soluções existentes para redes cabeadas e tratar clientes que se conectam via pontos de acessos ao sistema (Caporuscio et al., 2003; Fiege et al., 2003; Huang e Garcia-Molina, 2004). Caporuscio et al. (2003) desenvolveram uma arquitetura genérica que provê métodos para garantir que clientes móveis recebam suas notificações e que as recebam apenas uma vez. A arquitetura proposta utiliza uma arquitetura Publicar/Assinar já desenvolvida para redes cabeadas para armazenar e organizar assinaturas e publicações (realizando as atividades de seleção e entrega de notificações). Ela é genérica pois a intenção dos autores é que a sua adaptação para qualquer arquitetura para redes cabeadas na parte estruturada seja direta, ou com mínimo trabalho. Os autores utilizam *proxies*, localizados em cada ponto de acesso, para armazenar notificações que chegam

¹Localidade é a característica de um algoritmo rotear mensagens considerando uma métrica de proximidade (por exemplo, distância física, número de *hops*). O *Pastry* possui duas importantes propriedades de localidade que são de que o caminho total percorrido é de no máximo 66% superior à distância entre dois nós, e que o caminho para que duas mensagens se encontrem é no máximo do mesmo tamanho da distância entre dois nós.

a clientes que estão desconectados para quando se conectarem novamente poderem receber devidamente essas notificações. A arquitetura também trata o processo de troca de pontos de acessos. Nesse trabalho é apresentada a avaliação dessa arquitetura quanto à capacidade de adaptar a utilização de dispositivos móveis, a portabilidade da arquitetura para diferentes sistemas, sincronismo e a validade do serviço para diferentes tecnologias de redes.

Algumas propostas ressaltam que, no cenário de redes sem fio, a localização do usuário pode ser utilizada para o desenvolvimento de aplicações antes impossíveis em redes fixas (Munson e Gupta, 2002; Fiege et al., 2003). Serviços que fazem uso desse tipo de aplicação são conhecidos como **serviços baseado em localização**. Munson e Gupta (2002) mostram quais tipos de aplicações poderiam fazer uso de notificações baseadas em localização e qual a dificuldade das redes atuais fornecerem de forma adequada a localização de seus usuários.

Todas essas soluções se baseiam em um modelo de rede misto, composto tanto por uma parte cabeada robusta e por uma parte sem fio onde os dispositivos apresentam diversas restrições de conectividade, endereçamento, largura de banda e processamento. Na seção seguinte serão apresentadas as propostas de arquiteturas Publicar/Assinar para um modelo de rede composta unicamente pela parte sem fio.

2.3 Redes Móveis Ad Hoc

Redes Móveis Ad Hoc são redes que não possuem nenhuma infra-estrutura previamente estabelecida e em que os nós que as compõem são móveis e se comunicam sem fio. Esse tipo de rede necessita de soluções diferentes das previamente mostradas pois não é possível utilizar sistemas desenvolvidos para redes cabeadas para lidar com as atividades de seleção e entrega de notificações.

Huang e Garcia-Molina (2004) fazem uma extensa discussão sobre o desenvolvimento de arquiteturas Publicar/Assinar em MANETs mostrando desde as propostas para redes fixas, passando por redes móveis que possuem uma infra-estrutura até chegar nas redes ad hoc. Na solução apresentada, são construídas árvores para a disseminação de publicações. Os autores identificam que o objetivo é encontrar a árvore geradora mínima (e não árvores de Steiner) já que é importante que todos os nós sejam alcançados. Em um outro trabalho, (Huang e Garcia-Molina, 2003) descrevem detalhadamente o processo de construção dessas árvores.

Baehni et al. (2005) fazem uso da mobilidade dos nós em MANETs para ajudar na disseminação de publicações. Eles desenvolveram uma arquitetura Publicar/Assinar baseada em tópicos e ela funciona baseada em comunicações constantes com vizinhos para identificar interesses semelhantes e notificações ainda não recebidas. O algoritmo principal possui duas fases: na primeira assinaturas são trocadas entre vizinhos com mesmos interesses. Após a troca de assinaturas, ainda na primeira fase, os nós também trocam os identificadores das notificações que possuem e que são de interesse de ambos. Na segunda fase, os nós verificam se existe algum vizinho que tem interesse em alguma notificação que possuem. Caso haja, esses eventos são propagados junto com a lista de vizinhos do nó que está enviando a publicação. Com isso,

o vizinho que recebe poderá checar se existe algum vizinho na sua tabela que tem interesse na nova notificação, que ainda não tenha recebido e que não esteja na lista de vizinhos do nó inicial.

Algoritmos de disseminação epidêmica (Khelil et al., 2002; Eugster et al., 2004; Haas et al., 2006) também podem ser soluções para a disseminação de publicações para todos os nós interessados. Porém essas soluções não tratam devidamente o dinamismo da topologia de MANETs.

2.4 Comparação com a Arquitetura Proposta

A solução proposta nesta dissertação visa também utilizar a mobilidade para a disseminação de publicações pela rede. Porém, diferentemente do trabalho em Baehni et al. (2005), a arquitetura proposta não necessita que um grande percentual da rede tenha interesses comuns e nem de uma troca constante de mensagens para manter atualizadas as tabelas de vizinhos existentes. A solução em Huang e Garcia-Molina (2004) apresenta um grande problema que é o da necessidade de reconstrução contínua das árvores geradoras devido ao alto dinamismo da topologia das MANETs. Esta dissertação desenvolve uma arquitetura que não faz uso de árvores de disseminação como no trabalho de Huang.

Capítulo 3

Solução Proposta

Este trabalho propõe uma arquitetura Publicar/Assinar para MANETs, considerando todas as características que definem esse modelo de rede. O objetivo é ter uma arquitetura que não só trate os desafios existentes em MANETs mas também utilize a movimentação, uma característica inerente a esse modelo, para melhorar o desempenho do sistema.

A idéia é utilizar a movimentação dos nós para auxiliar a disseminação de publicações por toda a rede. Dessa forma, assinaturas que casam com essas publicações poderão ser encontradas e, portanto, seus usuários devidamente notificados. A movimentação é utilizada para que publicações recebidas localmente possam ser propagadas em regiões distantes após a movimentação de algum nó. Acreditamos que a disseminação ao longo do caminho apesar de ajudar a alcançar nós interessados levaria a um número maior de transmissões além de em implementações reais faria com que o número de colisões aumentasse atrapalhando a comunicação entre os demais nós da rede. Com movimentação suficiente, todas as publicações serão distribuídas por toda a área da rede, mesmo as mais distantes do ponto onde elas foram inicialmente publicadas. O objetivo é que a movimentação atue não apenas na disseminação das publicações mas que ajude a minimizar o número de transmissões, já que essas são muitas vezes as maiores responsáveis pelo consumo de energia (normalmente restrito nesses ambientes).

3.1 Considerações Iniciais

Uma importante suposição deste trabalho é de que os nós conseguem identificar se estão se movendo ou se estão parados. Existem trabalhos que discutem métodos que provêem essa funcionalidade para dispositivos móveis (Oliveira et al., 2007; Kim e Noble, 2001; Narasimhan e Cox., 1999). Por exemplo, Oliveira et al. (2007) desenvolveram um meio que através da análise do sinal que recebem em seus rádios, nós podem identificar *on-line* se estão movendo ou sofrendo interferência.

Mesmo consciente de que a expressividade de um serviço de notificação é essencial para a sua aplicabilidade, este trabalho foca somente no desafio de propagar todas as publicações aos usuários que demonstraram interesse no tipo de informação que elas contêm. A expressividade

de um serviço de notificação é normalmente definida pelo poder de expressar o interesse dos usuários através de assinaturas. Portanto, ela está extremamente ligada à organização e linguagem utilizada pelas assinaturas. Porém, o problema de desenvolver serviços de notificação para MANETs com alto poder de expressividade é semelhante ao problema em redes fixas, e esse último já foi extensivamente estudado na literatura (Demers et al., 2006; Eugster et al., 2003; Carzaniga et al., 2001). Com isso, este trabalho busca solucionar um problema que necessita de propostas específicas para MANETs: o de disseminar publicações para que essas alcancem todos os usuários interessados. Esse é particularmente um grande desafio em MANETs já que nela não existe nenhuma infra-estrutura que ajude na localização de usuários interessados (principalmente aqueles fora do alcance do nó publicador).

Devido à forma como a mobilidade é utilizada, a arquitetura proposta é viável apenas para aplicações assíncronas o suficiente para suportar atrasos de entrega de dezenas de minutos. Apesar de ser uma forte restrição, existem diversas aplicações que permitem esse tipo de atraso. Um bom exemplo é o de um serviço de notificação de um campus que visa notificar discentes, docentes e funcionários interessados sobre informações referentes a assuntos ligados à universidade e à cidade, como agendamento de provas e trabalhos, disponibilidade de notas, shows, festas, feriados, formaturas, vagas de emprego, reuniões, aulas canceladas, etc. Nesses cenários, as informações podem ser entregues com até horas de atraso desde a sua publicação.

O modelo de rede considerado neste trabalho é de uma MANET composta por nós homogêneos capazes de realizar as duas operações: assinar e publicar. Os nós são considerados homogêneos no sentido que todos são móveis e todos apresentam as mesmas restrições. As restrições consideradas são moderadas, onde todos nós estão sujeitos a períodos de desconexão (quando estão longe do alcance de qualquer outro nó) e possuem restrições de energia (e por isso transmissões excessivas devem ser evitadas), porém, os nós possuem uma capacidade de armazenamento suficiente para guardar publicações antigas. A solução proposta pode ser diretamente aplicada em um cenário com nós heterogêneos desde que os nós mais restritos não ofereçam restrições mais severas do que as aqui identificadas.

3.2 Arquitetura

Este trabalho apresenta uma arquitetura Publicar/Assinar baseada em conteúdo para MANETs chamada de PSAMANET (abreviação do inglês *Publish/Subscribe Architecture for Mobile Ad Hoc Networks*). A PSAMANET é baseada em conteúdo pois assinaturas descrevem como deve ser o conteúdo das publicações que interessam aos seus usuários. Além disso, as publicações são organizadas de uma maneira que o seu conteúdo pode facilmente ser comparado às definições das assinaturas. Como a expressividade não é o foco deste trabalho, utilizamos um modelo de assinaturas e publicações extremamente simples.

Publicações são simples números reais não negativos e limitados a um valor máximo de publicação R . Assinaturas, então, definem o interesse dos usuários através de intervalos de valores, $[v_{min}, v_{max}]$. Portanto, apesar de ser um modelo baseado em conteúdo (o de maior poder de expressão) a expressividade é extremamente limitada pois trata apenas publicações

que são simples números. Porém, a arquitetura proposta pode ser estendida para outros tipos de dados desde que o projetista se preocupe com a operação de verificação de casamento entre os novos tipos de assinaturas e publicações.

Publicações e assinaturas são identificadas pela combinação de dois identificadores. Em cada nó, as assinaturas e publicações criadas por ele são identificadas cada uma por um contador distinto (a_{id}, p_{id}) . E ainda, para a distinção dessas em outros nós da rede, é utilizado também o identificador do nó, n_{id} . Portanto, uma publicação é identificada na rede pelo par identificador do nó de origem e identificador da publicação, (n_{id}, p_{id}) . Uma assinatura é identificada pelo par identificador do nó de origem e identificador da assinatura, (n_{id}, a_{id}) .

Assinaturas podem ser de dois tipos: locais ou estrangeiras. Uma **assinatura local** é uma assinatura que define um interesse do nó que a armazena. E uma **assinatura estrangeira** é uma assinatura que define o interesse de um nó diferente do que o que a está armazenando. Portanto uma assinatura é local ou estrangeira dependendo de sua origem e de onde está armazenada. Uma assinatura local a um nó é estrangeira para qualquer outro nó que a receba e a armazene. É importante distinguir esses dois tipos de assinaturas pois eles serão tratadas diferentemente pela PSAMANET.

Assinaturas são enviadas em dois momentos distintos e publicações em quatro. Assinaturas são enviadas a vizinhos (i) quando são criadas e (ii) todas as vezes que um nó, após ter se movido, pára. Publicações são propagadas (i) quando são criadas, (ii) após a movimentação do nó (também após ele parar de se movimentar), (iii) quando o nó tem uma publicação cujo conteúdo case com uma nova assinatura recebida e (iv) quando um nó recebe uma nova publicação cujo conteúdo casa com alguma assinatura armazenada, ainda válida.

Então, uma publicação pode percorrer a rede nos seguintes passos:

- Primeiramente, ela é propagada pelo próprio nó publicador.
- Em seguida, todos os vizinhos que recebem a publicação a armazenam e verificam se eles possuem alguma assinatura que gera um casamento com a publicação recebida. Caso algum casamento seja identificado, a publicação é imediatamente propagada.
- Quando algum desses vizinhos se mover, logo que eles pararem, a publicação será novamente propagada, agora numa região diferente da rede.

Dessa forma, a movimentação dos nós ajuda na disseminação da publicação por toda a rede e ainda utilizando poucas transmissões (ela não é propagada hop a hop).

Nas duas seções, a seguir, serão descritas duas importantes estruturas utilizadas pela PSAMANET. Uma é responsável pelo armazenamento e organização das publicações enquanto a outra das assinaturas. Na Seção 3.5 será apresentado o protocolo que descreve o funcionamento da PSAMANET.

3.3 Buffer de Publicações

O **Buffer de Publicações** é a estrutura utilizada para armazenar publicações recebidas. Cada nó tem seu próprio Buffer de Publicações e todas as publicações inéditas que chegam ao nó são adicionadas a ele.

O desempenho da PSAMANET depende da sua habilidade de fazer com que nós propaguem publicações recebidas localmente em uma região diferente da rede. Para isso, é importante então que os nós possam armazenar publicações recebidas para que após moverem possam retransmití-las.

O Buffer de Publicações tem tamanho restrito devido à capacidade de armazenamento que os dispositivos computacionais tratados neste trabalho normalmente possuem. Ele se comporta como uma fila encadeada seguindo a política de substituição FIFO, ou seja, caso uma nova publicação seja adicionada e o buffer já esteja lotado, a publicação mais antiga (a primeira a chegar) é retirada e a nova é adicionada no final da fila. Portanto, considerando que o Buffer de Publicações é limitado à BP_{tam} publicações, ele armazena as BP_{tam} mais recentes publicações recebidas por um nó. Políticas diferentes de substituição poderiam ser utilizadas (como LRU e LFU) buscando melhor a taxa de casamento obtida pela arquitetura. Porém, nesse trabalho consideramos um cenário onde as publicações são homogêneas pois são do interesse do mesmo percentual de nós e têm a mesma prioridade. Portanto, a política FIFO é a mais adequada porque permite que as publicações permaneçam no Buffer a mesma quantidade de tempo.

O Buffer de Publicações é acessado quando novas publicações são recebidas pelo nó (momento no qual as publicações são adicionadas), quando uma nova assinatura é recebida (ele é utilizado para a procura de publicações cujo conteúdo casa com a nova assinatura) e quando um nó pára (as publicações contidas no buffer são propagadas).

O **tamanho do buffer**, BP_{tam} , tem um impacto dual no desempenho da PSAMANET. Por um lado, quanto maior for o buffer, mais tempo as publicações permanecem no nó, aumentando então a abrangência dessas publicações. No entanto, valores altos de BP_{tam} acarretam em um grande número de transmissões após cada movimentação do nó. Por isso, foi determinado um **máximo de transmissões** de publicações que um nó pode realizar em cada momento. Após o nó parar ou quando o nó recebe uma assinatura, no máximo BP_{max} publicações podem ser enviadas, mesmo que o buffer contenha mais de BP_{max} publicações ou que mais de BP_{max} publicações casem com a assinatura recebida. As publicações enviadas são escolhidas aleatoriamente seguindo uma distribuição uniforme. Portanto, caso um nó tenha que enviar n publicações (com $BP_{max} < n \leq BP_{tam}$), BP_{max} publicações são escolhidas aleatoriamente das n possíveis. Assim é possível ao mesmo tempo permitir que publicações durem mais tempo no Buffer de Publicações do nó (o que aumenta a taxa de casamento¹) e evitar um número excessivo de transmissões. Outras funções de distribuição de probabilidade poderiam ser utilizadas já que a política de substituição do buffer é a FIFO. Poderia-se, por exemplo, utilizar uma distribuição onde as publicações mais antigas tenham probabilidades

¹Taxa de casamento é uma métrica descrita no Capítulo 4.

maiores de serem propagadas já que em breve serão removidas do buffer. Ou então, publicações recentes poderiam ser priorizadas para que publicações que foram propagadas menos vezes tivessem maiores chances. Porém, nenhuma dessas políticas foi implementada e pode no futuro serem comparadas com a distribuição uniforme.

O Buffer de Publicações tem um grande impacto no desempenho da PSAMANET. Sua configuração afeta tanto a taxa de casamento quanto o número de transmissões. Além disso, como ele é responsável por armazenar as publicações em seu formato original, ele faz uso de grande partes dos recursos de memória dos dispositivos computacionais utilizados. Portanto, os valores de BP_{tam} e BP_{max} devem considerar a relação entre a taxa de casamento, o número de transmissões e a capacidade de armazenamento dos dispositivos considerados.

3.4 Tabela de Assinaturas

Outra estrutura importante no funcionamento da PSAMANET é a **Tabela de Assinaturas** responsável pelo armazenamento de assinaturas. A tabela possui duas outras funções: ela é responsável por encontrar as assinaturas que geram casamento com o conteúdo de alguma publicação especificada e ainda de controlar o tempo de validade de cada assinatura.

Cada tipo de assinatura deve ser armazenada por motivos diferentes. Assinaturas locais devem ser armazenadas para que os nós possam constantemente transmiti-las com o intuito de informar aos nós vizinhos os seus interesses. O armazenamento de assinaturas estrangeiras é importante para que quando um nó receber uma publicação ele possa verificar se ela é do interesse de algum vizinho.

Além disso, apesar da proposta nesse trabalho não tratar expressividade, a Tabela de Assinaturas é importante para facilitar trabalhos futuros que decidirem investir no desenvolvimento de linguagens e mecanismos para aumentar o poder de expressão do serviço ou otimizar o processo de identificação de casamentos.

A Tabela de Assinatura implementada na PSAMANET é uma lista encadeada "ilimitada". O tamanho da tabela não precisa ser limitado pois as assinaturas são descartadas em dois momentos que constantemente ocorrem na rede. Um desses momentos é associado ao **tempo de validade** A_{ttl} que cada assinatura possui - a sigla `ttl` vem do inglês *time-to-live* que significa tempo-de-vida. Esse parâmetro é importante pois dado o grande dinamismo da topologia de MANETs, constantemente a relação de vizinhança entre dois nós se modifica. O segundo momento onde assinaturas são descartadas é quando o nó se move. Nesse momento, todas as assinaturas estrangeiras são descartadas pois é considerado que toda a vizinhança do nó se modificou. O descarte de assinaturas pelos nós é importante pois caso isso não aconteça, com o passar do tempo, todos os nós terão assinaturas que geram casamento com qualquer publicação. Com isso, após qualquer transmissão de uma publicação um *flooding* seria gerado levando a número excessivo e desnecessário de transmissões.

Uma outra medida utilizada para evitar transmissões desnecessárias de publicações é o uso de uma probabilidade para um nó aceitar uma assinatura que ele recebe. O objetivo de transmitir assinaturas para vizinhos é para caso uma publicação de interesse do nó chegue a

esses vizinhos, que eles enviem a publicação para o nó interessado. Porém, só é necessário que um dos vizinhos envie a publicação, e não múltiplos envios que levam a um desperdício de recursos. Para diminuir a ocorrência de múltiplos envios, cada nó tem uma **probabilidade de aceitação** A_{prob} de considerar uma assinatura recebida.

Portanto, a Tabela de Assinatura desempenha um papel fundamental na organização de assinaturas e suas operações.

3.5 Protocolo

O funcionamento da PSAMANET pode ser descrito pelas ações tomadas dados certos eventos. Existem quatro eventos que ocorrem na rede que disparam ações na PSAMANET: assinatura, publicação, recebimento de mensagem e parada após movimentação.

A maneira como a PSAMANET lida com essas ações é sempre baseada no objetivo de aumentar a taxa de casamento utilizando o menor número possível de transmissões².

Quando um nó necessita realizar uma **assinatura** ou enviar uma **publicação**, ele apenas a envia através de um *broadcast* e armazena a assinatura ou publicação gerada na devida estrutura (publicações no Buffer de Publicações e assinaturas na Tabela de Assinaturas).

As mensagens que um nó pode receber na PSAMANET são ou uma publicação ou uma assinatura. Ao **receber uma mensagem**, um nó checa se já recebeu essa assinatura ou publicação, caso já tenha recebido ela é simplesmente descartada.³ Esse comportamento está descrito no Algoritmo 3.1.

Algoritmo 3.1 Receber uma mensagem

Entrada: Mensagem m

- 1: **se** m é uma assinatura **então**
 - 2: **se** Assinatura m não foi recebida ainda **então**
 - 3: Tratar assinatura m .
 - 4: **senão**
 - 5: Descarta m .
 - 6: **fim se**
 - 7: **senão se** m é uma publicação **então**
 - 8: **se** Publicação m não foi recebida ainda **então**
 - 9: Tratar publicação m .
 - 10: **senão**
 - 11: Descarta m .
 - 12: **fim se**
 - 13: **fim se**
-

O procedimento tomado quando a mensagem recebida é uma assinatura é mostrado no Algoritmo 3.2. Se o nó receber uma assinatura inédita, a primeira ação é decidir se a assinatura recebida será aceita ou não pelo nó, baseado na probabilidade A_{prob} (linhas 1 e 2).

²As métricas **taxa de casamento** e **número de transmissões** serão melhor detalhadas no Capítulo 4.

³As assinaturas que são descartadas nos dois momentos mencionados na Seção 3.4 (A_{ttl} expirado ou após uma movimentação), podem ser novamente recebidas pelo nó. Elas não serão consideradas como assinaturas duplicadas.

Caso ele decida aceitar a assinatura, ele a armazena (linha 3) e em seguida verifica se existem publicações armazenadas pelo nó que possuem conteúdo que casa com essa assinatura (linha 4). Caso o conjunto de publicações que casam com a assinatura tenha cardinalidade inferior ou igual a BP_{max} , todas as publicações são enviadas (linhas 5 a 8). Se o tamanho for maior, então BP_{max} publicações do conjunto são aleatoriamente escolhidas, seguindo uma distribuição uniforme (linhas 10 a 17). O objetivo dessas transmissões é o de alcançar o nó que enviou a assinatura recebida com publicações de seu interesse. É importante ressaltar que como todas as transmissões são *broadcasts*, as publicações são recebidas por todos os nós vizinhos, e não somente pelo nó remetente da assinatura. Dessa forma a mesma transmissão é também utilizada para disseminar publicações em outras regiões da rede após a movimentação desses nós vizinhos.

Algoritmo 3.2 Tratar assinatura

Entrada: Assinatura a

```

1:  $r \leftarrow$  número real aleatório entre 0 e 1.
2: se  $r \leq A_{prob}$  então
3:   Adiciona  $a$  na Tabela de Assinaturas.
4:    $P \leftarrow$  publicações no Buffer de Publicações que casam com  $a$ .
5:   se  $|P| \leq BP_{max}$  então
6:     para toda publicação  $p \in P$  faça
7:       Transmite  $p$ .
8:     fim para
9:   senão
10:     $n \leftarrow 0$ 
11:    enquanto  $n < BP_{max}$  faça
12:       $i \leftarrow$  número inteiro aleatório entre 1 e  $|P|$ 
13:      se  $P_i$  não foi transmitida então
14:        Transmite  $P_i$ .
15:        Incrementa  $n$ .
16:      fim se
17:    fim enquanto
18:  fim se
19: fim se

```

Se a mensagem recebida for uma publicação, a primeira medida é encontrar as assinaturas locais que geram casamento com essa publicação. Caso exista alguma, a aplicação é então notificada⁴. Em seguida, ela é armazenada e, então, procura-se por assinaturas que gerem casamentos com o conteúdo da publicação recebida. Caso algum casamento com alguma assinatura ainda válida (a validade de uma assinatura depende se ela foi recebida a menos tempo do que A_{ttl}) seja encontrado, a publicação é, então, propagada. Esse comportamento está descrito no Algoritmo 3.3.

Após se movimentar, um nó precisa realizar duas tarefas: informar seus novos vizinhos sobre os seus interesses (enviar assinaturas) e propagar as publicações que recebeu em outras

⁴Nenhuma aplicação foi definida nesse trabalho, a notificação consiste então na criação de uma entrada em um *log* que será utilizado para mensurar a taxa de casamento da rede (métrica descrita no Capítulo 4).

Algoritmo 3.3 Tratar publicação

Entrada: Publicação p

- 1: **para toda** Assinatura local a na Tabela de Assinaturas tal que, p casa com a **faça**
 - 2: Notifica aplicação do casamento entre p e a .
 - 3: **fim para**
 - 4: Adiciona p no Buffer de Publicações
 - 5: $A \leftarrow$ assinaturas na Tabela de Assinaturas que geram casamento com p
 - 6: **se** $|A| > 0$ **então**
 - 7: Transmite p .
 - 8: **fim se**
-

Algoritmo 3.4 Parar de mover

- 1: { *Enviando assinaturas* }
 - 2: Limpa Tabela de Assinaturas de assinaturas estrangeiras.
 - 3: **para toda** assinatura $a \in$ Tabela de Assinaturas **faça**
 - 4: Transmite a .
 - 5: **fim para**
 - 6: { *Enviando publicações* }
 - 7: **se** Número de publicações no Buffer de Publicações $\leq BP_{max}$ **então**
 - 8: **para toda** publicação $p \in BP$ **faça**
 - 9: Transmite p .
 - 10: **fim para**
 - 11: **senão**
 - 12: $n \leftarrow 0$
 - 13: **enquanto** $n < BP_{max}$ **faça**
 - 14: $i \leftarrow$ número inteiro aleatório entre 1 e número de publicações no Buffer de Publicações.
 - 15: **se** i -ésima publicação do Buffer de Publicações não foi transmitida **então**
 - 16: Transmite i -ésima publicação do Buffer de Publicações.
 - 17: Incrementa n .
 - 18: **fim se**
 - 19: **fim enquanto**
 - 20: **fim se**
-

regiões. O Algoritmo 3.4 mostra como essas duas atividades são realizadas. Primeiramente, o nó limpa sua Tabela de Assinaturas excluindo todas as assinaturas estrangeiras (linha 2). Em seguida (linhas 3 a 5), o nó transmite todas as assinaturas que sobraram na Tabela de Assinaturas (obviamente, todas são assinaturas locais). Após enviar as suas assinaturas locais aos seus vizinhos, o nó começa o procedimento para a propagação de publicações. Se o número de publicações no Buffer de Publicações for inferior, ou igual, a BP_{max} , todas as publicações do buffer são enviadas (linhas 8 a 10). Caso contrário, são escolhidas aleatoriamente BP_{max} publicações para serem transmitidas (linhas 12 a 19).

Todos os algoritmos são extremamente simples e a complexidade de cada um depende do tamanho da estrutura com que estão lidando. Operações sobre o Buffer de Publicações são normalmente de ordem $O(BP_{tam})$ e as sobre a Tabela de Assinaturas $O(|\text{Tabela de Assinaturas}|)$. O tamanho da Tabela de Assinaturas, apesar de ilimi-

tado, normalmente é bem pequeno, dadas as políticas de descarte de assinaturas (a baseada no A_{ttl} e a após a movimentação do nó). A escolha aleatória das BP_{max} publicações quando o número de publicações a serem transmitidas é maior do que esse valor tem ordem de complexidade teoricamente infinita, porém os experimentos mostraram que o comportamento médio é sempre $O(BP_{max})$.

Capítulo 4

Experimentos

Neste capítulo será apresentado como a arquitetura PSAMANET foi implementada e avaliada. Foi realizado um número variável de experimentos, sempre suficiente para obter pequenos intervalos de confiança (normalmente inferiores a 1%). Realizar experimentos reais envolveria a utilização de diversos dispositivos computacionais (por exemplo, computadores de mão, celulares equipados com placas Wi-Fi) e de um grupo de colaboradores. Dessa forma, os experimentos despenderiam uma grande quantidade de recursos de hardware além de demandarem um longo período de coleta de dados.

Uma alternativa a experimentos reais é a simulação do ambiente, dos dispositivos e da arquitetura proposta. A maioria das propostas para MANETs faz uso desse artifício para validar seu funcionamento e desempenho. Portanto, a arquitetura proposta também foi avaliada via simulação. O simulador utilizado foi o *The Network Simulator*, NS-2 (ns 2, 2007) - a versão utilizada foi a mais recente até o começo da execução dos experimentos, a versão 2.31. O NS-2 é o simulador de redes de computadores mais difundido no meio acadêmico e é capaz de simular todas as camadas dos mais diversos modelos de rede.

4.1 Descrição do Cenário Simulado

Os experimentos foram projetados para refletir o cenário de um campus com uma densidade "razoável" de estudantes. Cada estudante está equipado com um computador de mão que ele utiliza para a produção e o consumo de informações. Os estudantes se movimentam com o computador de mão a velocidades variáveis, desde andando lentamente até correndo.

Para isso, o NS-2 foi configurado para executar com seus parâmetros recebendo os valores descritos na Tabela 4.1. O alcance do rádio de cada nó e a área da rede foram definidos para que o número médio de vizinhos de cada nó seja de cerca de três vizinhos.

O modelo de simulação de movimentação utilizado nos experimentos foi o **Random Waypoint**, RWP. Uma importante variável da experimentação de propostas para MANETs via simulação é a simulação da movimentação. A utilização do modelo RWP se deve à praticidade de utilizá-lo no NS-2 (uma ferramenta de geração do cenário de movimentação já está incluída no pacote do simulador) e por ser o mais comumente utilizado. Apesar disso, o RWP apresenta

Parâmetro	Valor
Tipo de Canal	WirelessChannel
Modelo de Propagação do Rádio	FreeSpace
Interface de Rede	WirelessPhy
Protocolo MAC	802_11
Tipo de Fila da Interface	DropTail/PriQueue
Tipo de Camada de Ligação de Dados	LL
Tipo de Antena	OmniAntenna
Máximo de Pacotes na Fila	50
Modelo de Energia	EnergyModel
Alcance do Rádio (RXThresh_)	7,69113e-08 (50m)
Potência de Transmissão	0,045 Watts
Potência de Recepção	0,024 Watts
Algoritmo de Roteamento	DumbAgent
Número de Nós	200
Área	600m × 600m
Tempo de Simulação	3600s

Tabela 4.1: Parâmetros do NS-2

conhecidos problemas, e um estudo aprofundado sobre esse modelo pode ser encontrado no Apêndice A.

O RWP necessita que sejam informados a velocidade mínima, máxima e o tempo de pausa médio dos nós. Além disso, a função de distribuição utilizada para a escolha aleatória desses valores pode ser também definida. A Tabela 4.2 mostra quais valores foram utilizados para estes experimentos.

Em relação a publicações e assinaturas, o cenário planejado é tal que diversas publicações ocorrem homoganeamente dentre os nós e que cada uma seja de interesse de aproximadamente 20% dos usuários. Essa taxa de interesse foi definida arbitrariamente com o objetivo de refletir uma rede com semelhança de interesses relativamente baixa (alguns trabalhos utilizam interesses comuns de até 80% - Baehni et al. (2005)). Outros trabalhos da literatura utilizam taxas bem mais altas (Baehni et al., 2005). Dado que a arquitetura é proposta para aplicações que suportam longos atrasos, as publicações são todas publicadas durante os primeiros 1200 segundos (20 minutos), o restante do tempo (40 minutos) é utilizado para a disseminação das mesmas. Nesses 20 minutos são realizadas 1000 publicações onde o nó que realiza cada publicação é escolhido aleatoriamente (todos os nós têm a mesma probabilidade de serem escolhidos).

Essa taxa de interesse de 20% é atingida fazendo com que o tamanho dos intervalos I das assinaturas seja tal que uma publicação tenha 20% de chance de ser do interesse de qualquer nó. Cada nó realiza duas assinaturas e como o valor máximo da publicação é R , temos que:

$$I = \frac{R \times 20\%}{2 \times 200}$$

Parâmetro	Valor
Velocidade Mínima	1,5 m/s
Velocidade Máxima	4,0 m/s
Distribuição para Velocidade	Normal
Pausa Média	300s
Distribuição para Pausa	Uniforme

Tabela 4.2: Parâmetros para o modelo de movimentação *Random Waypoint*

Portanto, os intervalos $[v_{min}, v_{max}]$ das assinaturas são gerados escolhendo-se aleatoriamente v_{min} , de forma uniforme, dentro do intervalo $[0, R - I]$ e definindo $v_{max} = v_{min} + I$. Como já explicado, as publicações são números reais no intervalo $[0, R]$.

4.2 Métricas e Fases de Experimentação

Duas métricas avaliam o desempenho da PSAMANET: taxa de casamento e número de transmissões. A **taxa de casamento** reflete o quanto as publicações alcançaram nós interessados em seu conteúdo. A taxa varia de 0 a 1, onde 0 indica que as publicações alcançaram nenhum dos nós interessados enquanto 1 indica que todas as publicações alcançaram todos os nós da rede que tinham interesse em seu conteúdo. A taxa de casamento é a média da razão entre o número de nós interessados que receberam cada publicação pelo número de nós interessados nela, existe um valor para cada uma das mil publicações. O **número de transmissões** é o número de mensagens (publicações ou assinaturas) que foram enviadas durante o tempo de simulação¹. O objetivo da PSAMANET é atingir altas taxas de casamento (próximas a 1) com o menor número de transmissões possível.

Os experimentos foram divididos em duas fases: uma primeira de calibragem e após essa uma de análise de desempenho. As duas principais estruturas da PSAMANET, o Buffer de Publicações e a Tabela de Assinaturas, demonstram desempenhos diferentes quanto a taxa de casamento e ao número de transmissões dependendo dos valores assumidos pelos pares (BP_{tam}, BP_{max}) e (A_{ttl}, A_{prob}) , respectivamente. Portanto, é importante uma primeira fase de experimentos onde combinações diferentes desses valores são testados com o objetivo de selecionar os mais adequados.

Na Seção seguinte será explicado como foram os experimentos de calibragem, enquanto na Seção 4.4 serão discutidos os experimentos de análise de desempenho.

¹O número de transmissões considerado nos experimentos não considera re-transmissões devido a colisões ou a qualquer outro problema durante a comunicação. O número de transmissões é a soma do número de assinaturas e publicações enviadas por cada nó da rede. Esse número reflete o objetivo da métrica que é o de mensurar o volume de comunicação que ocorreu na rede.

4.3 Calibragem de Parâmetros

Esta seção discute a primeira fase de experimentos responsável para encontrar as configurações mais adequadas dos parâmetros: BP_{tam} , BP_{max} , A_{prob} e A_{ttl} . Diferentes configurações desses parâmetros levam a resultados diferentes tanto de taxa de casamento quanto de número de transmissões.

Todos os resultados apresentados são a média de 10 execuções, sendo cada uma sobre uma instância diferente do cenário descrito acima. Intervalos de confiança com um nível de confiança de 95% são traçados em todos os gráficos apresentados nessa seção². Os intervalos foram calculados utilizando a distribuição t de *Student*³.

A **Calibragem de Parâmetros** é fundamental para a escolha correta das configurações dos parâmetros a serem avaliadas. Dado o grande número possível de configurações, é importante que seja feita uma pré-análise empírica do impacto desses no desempenho da arquitetura proposta.

Avaliar todas as combinações dos quatro parâmetros levaria a um número estrondoso de experimentos. Por essa razão, os quatro parâmetros foram divididos em dois pares de acordo com a estrutura da PSAMANET que eles definem. Portanto, primeiro será avaliado o par (BP_{tam}, BP_{max}) que diz respeito ao Buffer de Publicações e, após escolhidas as configurações mais adequadas desse par, os parâmetros relacionados à Tabela de Assinaturas, o par (A_{prob}, A_{ttl}) , serão analisados.

As subseções seguintes tratam os experimentos de calibragem de parâmetros para cada uma das estruturas da PSAMANET.

4.3.1 Buffer de Publicações

O Buffer de Publicações atua na PSAMANET com o objetivo de disseminar as publicações recebidas localmente por um nó em uma diferente região da rede. Os parâmetros (BP_{tam}, BP_{max}) refletem diretamente tanto na taxa de casamento quanto no número de transmissões. Ou seja, quanto maior os valores assumidos por esses parâmetros, maior é o valor obtido nessas duas métricas.

Portanto, a calibragem dos parâmetros do Buffer de Publicações consiste na tarefa de encontrar as configurações que fazem melhor uso do número de transmissões refletindo em altas taxas de casamento. Como já mencionado, o parâmetro BP_{tam} tem um impacto no tempo de permanência de uma publicação em um nó (e num cenário mais geral, na rede). Quanto mais tempo uma publicação permanecer em um nó, ou na rede, maiores as chances dela alcançar nós interessados no seu conteúdo. O parâmetro BP_{max} restringe o número de transmissões realizadas, principalmente após paradas de nós. O impacto do BP_{max} é maior após as paradas do que na chegada de uma assinatura, pois na primeira todas as publicações

²Muitas vezes os intervalos de confiança são tão pequenos que nem são perceptíveis.

³A distribuição t de *Student* é uma distribuição utilizada para o cálculo de intervalos de confiança onde o número de amostras é pequeno. Quando o número de amostras é superior a 30, a distribuição t de *Student* se comporta de maneira muito semelhante a distribuição normal.

Configuração	BP_{tam}	BP_{max}
a	200	5
b	200	10
c	300	25
d	500	50

Tabela 4.3: Configurações do par (BP_{tam}, BP_{max})

no buffer têm potencial de serem enviadas, enquanto, na segunda, somente as que casam com a assinatura recebida.

Para a análise do impacto dos parâmetros do Buffer de publicações os parâmetros da Tabela de Assinatura foram fixados. Ao parâmetro A_{prob} foi atribuído o valor de 0,4 e a escolha desse valor se deve ao fato de ser o primeiro múltiplo de 0,1 que faz com que o número de vizinhos esperado que aceitem a assinatura seja maior do que um⁴. E o parâmetro A_{ttl} recebeu o valor de 300s baseado no tempo médio de pausa escolhido para o modelo de movimentação.

A Figura 4.1 apresenta os gráficos com os resultados da calibragem dos parâmetros do Buffer de Publicações. Nessa figura, cada linha é traçada para um diferente valor de BP_{tam} . O eixo x reflete a variação do parâmetro BP_{max} . O tamanho do Buffer de Publicações varia de 100 a 1000 de 100 em 100. É importante ressaltar que $BP_{tam} = 1000$ indica que o buffer tem tamanho ilimitado no cenário dos experimentos pois o número de publicações feitas durante a simulação é de 1000 publicações. O número máximo de transmissões assume os valores 1, 3, 5, 10, 25, 50 e 100.

A Figura 4.1(a) mostra o comportamento da PSAMANET quanto ao número de transmissões para as diferentes configurações do par (BP_{tam}, BP_{max}) . Fica evidente que quanto maior o valor de BP_{max} maior é o número de transmissões. Apesar da taxa de crescimento ser maior para valores menores de BP_{max} , o número de transmissões ainda aumenta consideravelmente até o maior valor utilizado (como numa curva logarítmica de base pequena).

Na Figura 4.1(b) o eixo y indica a taxa de casamento alcançada por cada uma das configurações. A primeira observação é que a taxa de crescimento é extremamente alta para valores menores de BP_{max} porém quase convergindo para valores maiores (como numa curva logarítmica de base grande). Outra observação importante é que o comportamento para valores de BP_{tam} maiores do que 500, a taxa de casamento é quase a mesma. Isso indica que o Buffer de Publicações não precisa ter tamanho superior à metade das publicações submetidas durante uma hora, pois a taxa de casamento alcançada seria a mesma.

Analisando em conjunto os resultados mostrados nas Figuras 4.1(a) e 4.1(b) observamos que utilizar valores de BP_{tam} e BP_{max} superiores a 500 e 50, respectivamente, é desnecessário pois alcançaria taxas de casamento semelhantes utilizando mais recursos e realizando um número maior de transmissões. Considerando que a PSAMANET é projetada independente da aplicação, é interessante observar o seu comportamento com parâmetros que realizem poucas

⁴Dado que um nó tem em média três vizinhos, o número esperado de vizinhos que aceitam a assinatura é $3 \times A_{prob}$

transmissões (mesmo que obtenha taxas de casamento baixas) e com parâmetros que alcancem altas taxas de casamento (mesmo que leve a um número grande de transmissões). Portanto, para observar esses extremos e cenários intermediários, foram escolhidas as configurações do par (BP_{tam}, BP_{max}) listadas na Tabela 4.3. Os valores escolhidos foram baseados no objetivo de maximizar a taxa de casamento e minimizar o número de transmissões.

A configuração do Buffer de Publicações mostrou ter um grande impacto nas taxas de casamento alcançadas e no número de transmissões realizadas. Projetistas de aplicações podem fazer uso dessa flexibilidade para atender a requisitos próprios de cada aplicação.

4.3.2 Tabela de Assinaturas

A Tabela de Assinaturas é responsável pelo conhecimento do nó referente aos interesses de seus vizinhos. Além dessa responsabilidade, a Tabela de Assinaturas também é incumbida da tarefa de armazenar as assinaturas dos próprios nós para serem transmitidas com o objetivo de informar a seus vizinhos sobre os seus interesses. A tabela possui dois parâmetros que influenciam o seu comportamento e, por isso, ela é definida pela configuração desse par de parâmetros (A_{prob}, A_{ttl}) .

Como pode ser visto na Figura 4.2, o parâmetro A_{ttl} não alterou o desempenho da PSAMANET, nem no número de transmissões nem na taxa de casamento. Isso acontece devido ao fato de que os nós, após se moverem, limpam suas Tabelas de Assinaturas de assinaturas estrangeiras, antes mesmo de expirarem. Em topologias onde o cenário de movimentação seja mais estático, talvez o parâmetro A_{ttl} tenha um impacto maior no desempenho da arquitetura. Por esses motivos, daqui em diante todos os experimentos serão executados com $A_{ttl} = 60s$. Assim, a arquitetura PSAMANET estará mais adaptada a cenários com topologias mais estáticas onde assinaturas expirarão antes de se moverem com mais frequência.

Diferentemente do parâmetro A_{ttl} , o parâmetro A_{prob} demonstra impactar diretamente a taxa de casamento alcançada e o número de transmissões realizadas. Esse parâmetro está relacionado ao número de vizinhos que foram informados sobre interesse de cada nó. Quanto mais vizinhos souberem do interesse de um nó, maior as chances desse receber novas publicações de seu interesse. Porém ao mesmo tempo maior a probabilidade do envio múltiplo de uma mesma publicação, o que não ajuda no aumento da taxa de casamento. O parâmetro é avaliado para valores múltiplos de 0,1 (por exemplo, 0,1, 0,2, 0,3, etc) entre 0,1 e 1,0.

Na Figura 4.3, são mostrados os gráficos que refletem o desempenho da PSAMANET quando o parâmetro A_{prob} varia. O desempenho é analisado utilizando diferentes configurações de BP_{tam} e BP_{max} (o parâmetro A_{ttl} é fixado em 60s devido aos motivos mencionados anteriormente). Vemos na Figura 4.3(a) que o número de transmissões cresce linearmente com o crescimento dos valores atribuídos ao parâmetro A_{prob} . A inclinação das retas é diferente para as diferentes configurações de BP_{tam} e BP_{max} , ou seja, valores maiores para esses parâmetros resultaram em inclinações maiores. Porém o crescimento da taxa de casamento, variando-se o parâmetro A_{prob} , é menor para valores maiores desse parâmetro, como pode ser visto na Figura 4.3(b). Quanto maiores forem os parâmetros BP_{tam} e BP_{max} , mais rapidamente a taxa de casamento converge.

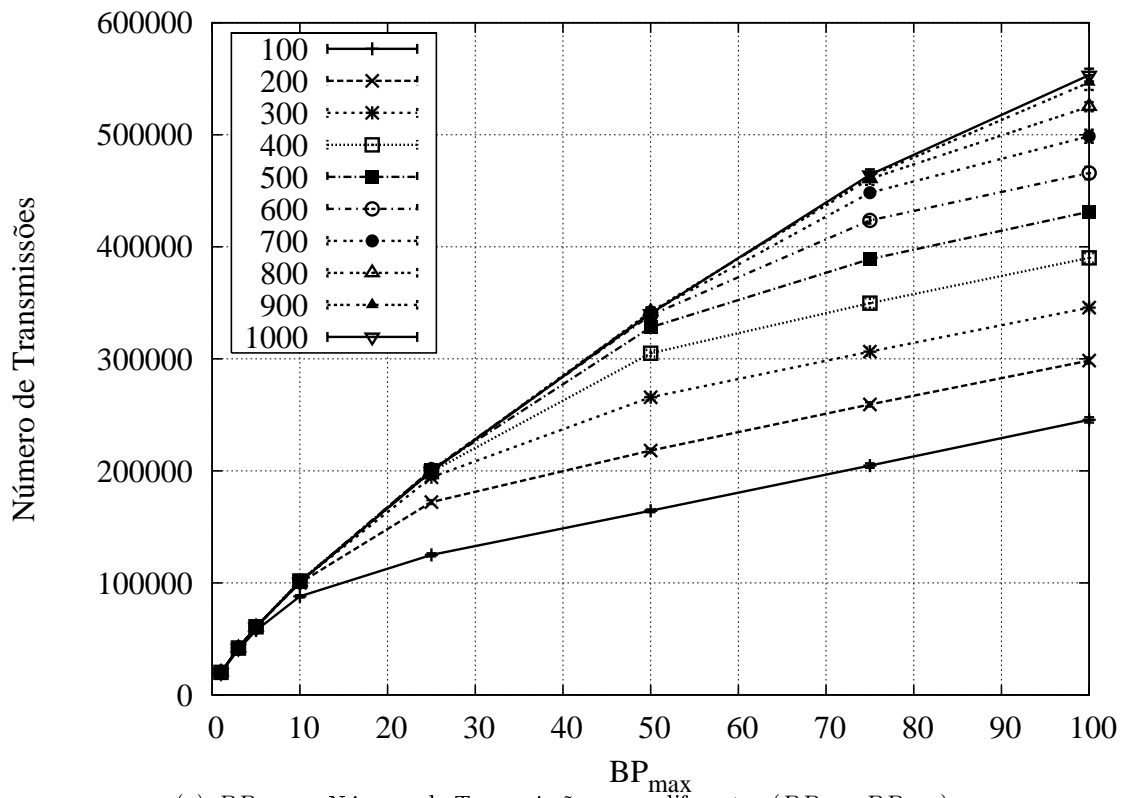
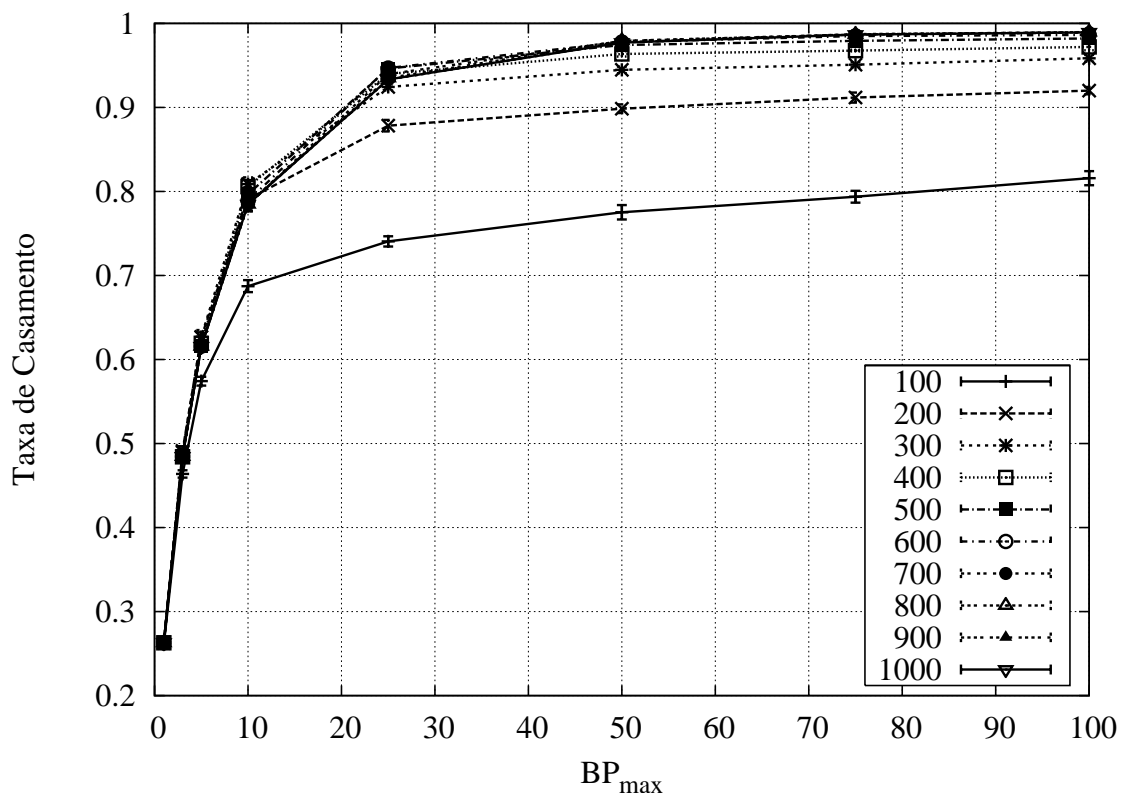
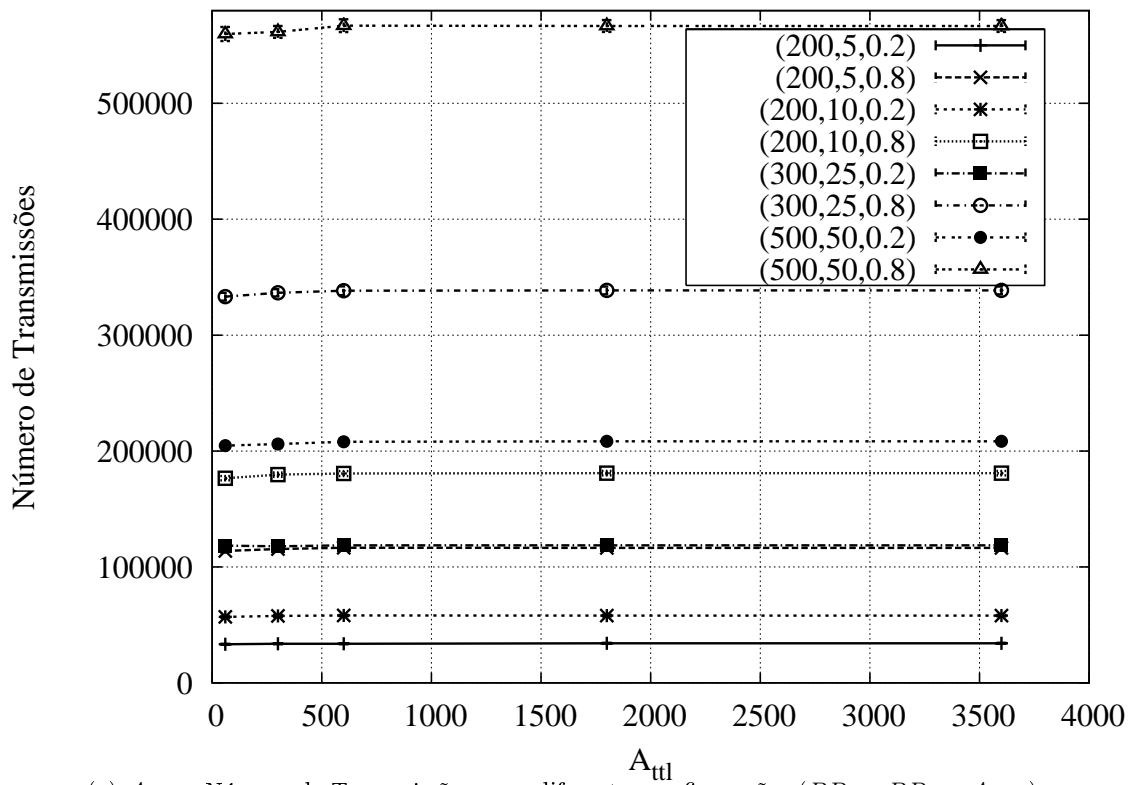
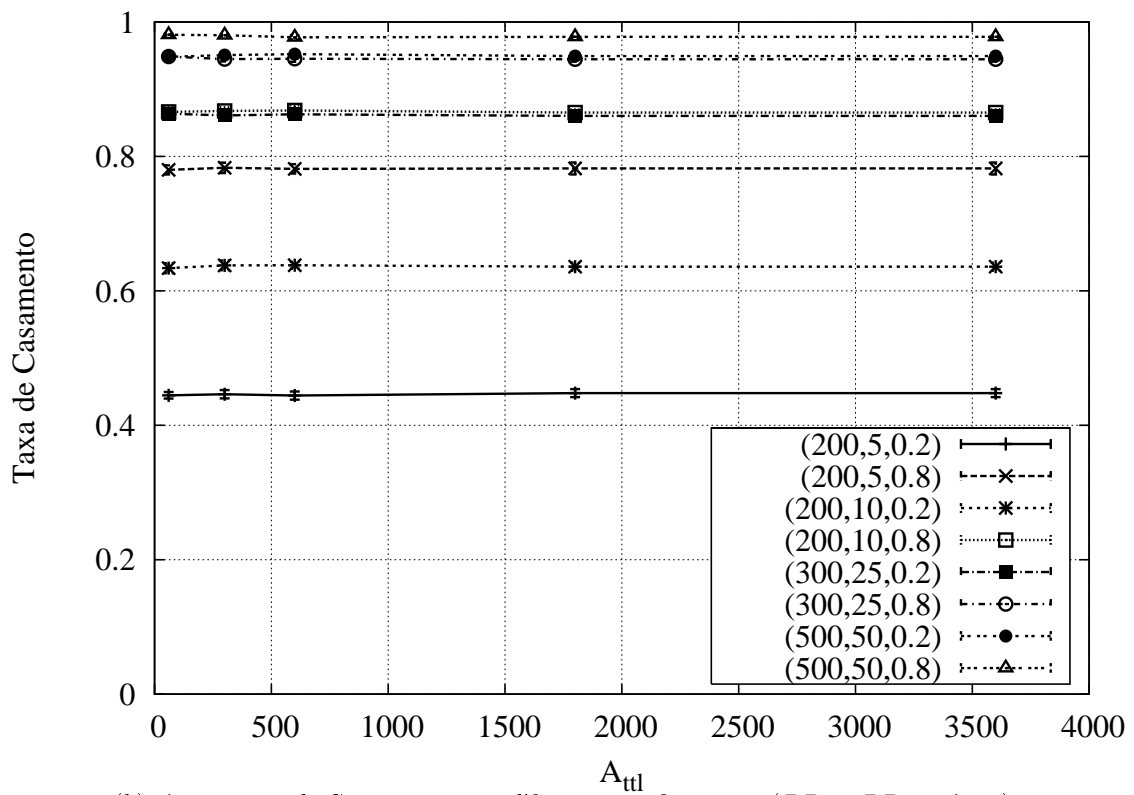
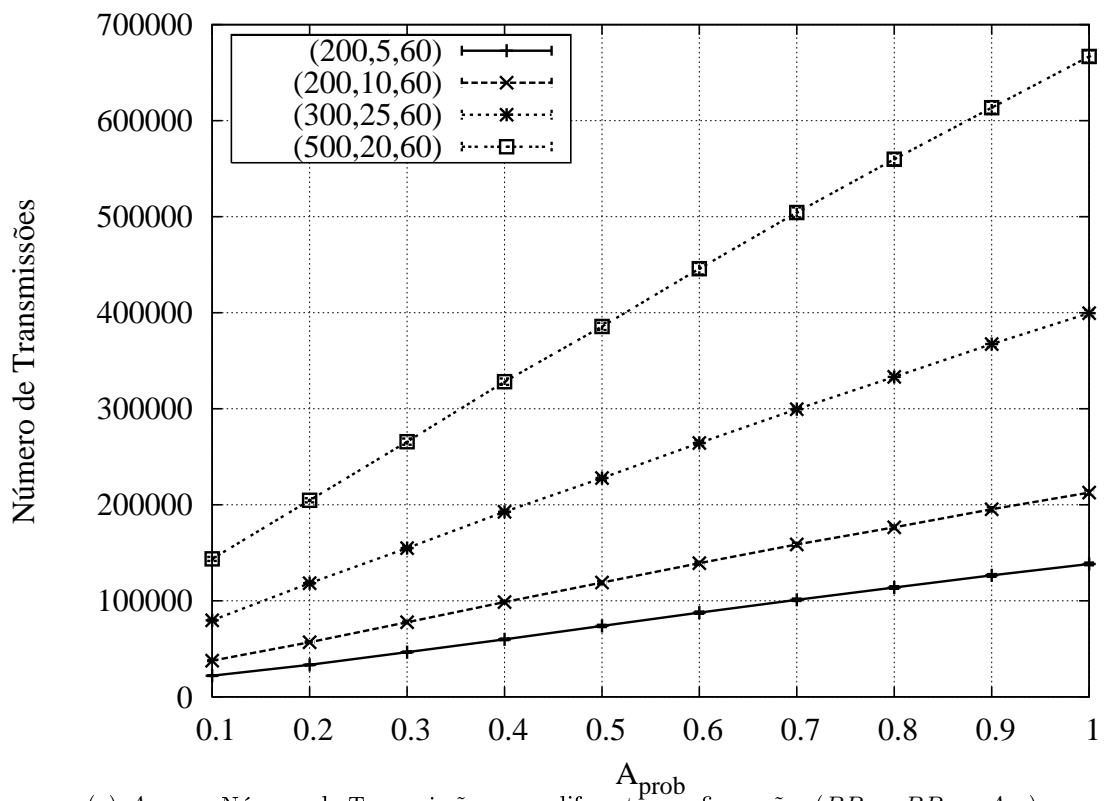
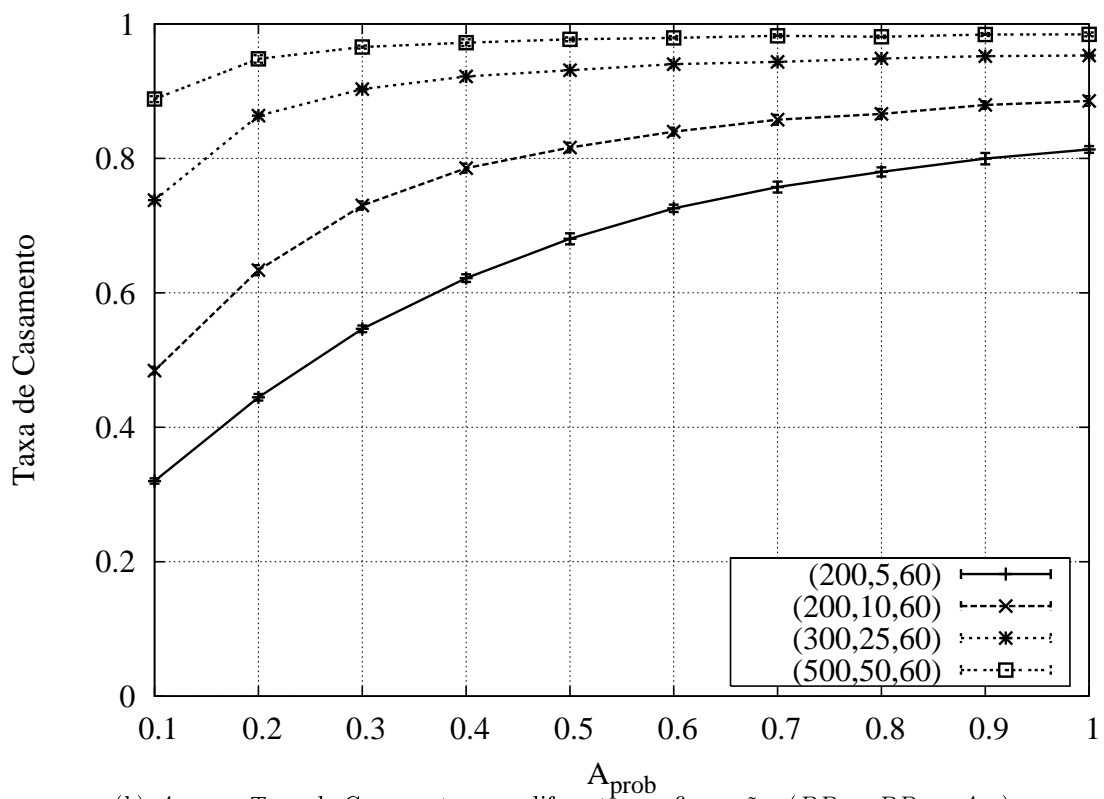
(a) $BP_{max} \times$ Número de Transmissões para diferentes (BP_{tam}, BP_{max}) (b) $BP_{max} \times$ Taxa de Casamento para diferentes (BP_{tam}, BP_{max})

Figura 4.1: Resultados dos experimentos de calibragem do Buffer de Publicações

(a) $A_{ttl} \times$ Número de Transmissões para diferentes configurações ($BP_{tam}, BP_{max}, A_{prob}$)(b) $A_{ttl} \times$ Taxa de Casamento para diferentes configurações ($BP_{tam}, BP_{max}, A_{prob}$)Figura 4.2: Resultados dos experimentos de calibragem da Tabela de Assinaturas para diferentes A_{ttl}

(a) $A_{prob} \times$ Número de Transmissões para diferentes configurações ($BP_{tam}, BP_{max}, Attl$)(b) $A_{prob} \times$ Taxa de Casamento para diferentes configurações ($BP_{tam}, BP_{max}, Attl$)Figura 4.3: Resultados dos experimentos de calibragem da Tabela de Assinaturas para diferentes A_{prob}

Configuração	BP_{tam}	BP_{max}	A_{prob}
I	200	10	0,1
II	200	10	0,4
III	200	10	0,9
IV	300	25	0,2
V	300	25	0,4
VI	500	50	0,2
VII	500	50	0,4

Tabela 4.4: Configurações da PSAMANET consideradas para a Análise de Desempenho

Correlacionando os resultados das Figuras 4.3(a) e 4.3(b) é possível escolher as configurações da tripla $(BP_{tam}, BP_{max}, A_{prob})$ mais adequadas (A_{ttl} é sempre 60s). Uma primeira observação é que para as configurações do par (BP_{tam}, BP_{max}) iguais a $(300, 25)$ e $(500, 50)$ as melhores opções de A_{prob} são os baixos valores (inferiores a 0,5). Pois, para valores maiores de A_{prob} , a PSAMANET realiza um número muito maior de transmissões e a taxa de casamento se mantém praticamente a mesma. Para as configurações com $BP_{tam} = 200$, a taxa de casamento continua crescendo para altos valores de A_{prob} porém com um aumento ainda mais significativo no número de transmissões.

Considerando esses fatores e a necessidade de se avaliar configurações com objetivos diferentes de desempenho (alta taxa de casamento ou pequeno número de transmissões), foram escolhidas sete combinações dos parâmetros $(BP_{tam}, BP_{max}, A_{prob})$. Essas sete configurações estão relacionadas na Tabela 4.4 e terão seu desempenho melhor analisado na seção seguinte.

Nessa primeira fase dos experimentos foi possível verificar a flexibilidade da arquitetura proposta e, portanto, seu poder de adaptação para aplicações com diferentes requisitos. Aplicações onde a energia dos dispositivos é escassa ou a largura de banda disponível é restrita, o projetista pode utilizar a PSAMANET com configurações onde o número de transmissões é muito baixo e ainda obter taxas de casamento razoáveis. Porém, caso a aplicação necessite que as publicações cheguem sempre aos nós interessados, uma configuração onde a taxa de casamento é alta pode ser utilizada, mesmo que isso leve a um número grande de transmissões.

4.4 Análise de Desempenho

Nessa segunda fase dos experimentos, o objetivo é analisar o desempenho da PSAMANET para as diferentes configurações escolhidas na primeira fase. Primeiramente, compara-se o desempenho obtido com o desempenho de uma solução consolidada na literatura. Após essa comparação, é feita uma análise do comportamento da arquitetura proposta em cenários com diferentes intensidades de movimentação.

A solução consolidada na literatura utilizada para a comparação com a PSAMANET é a de Roteamento Ad Hoc baseado em Rumor do inglês *Gossip-based ad hoc routing* Haas et al. (2006) - o algoritmo implementado aqui não é o proposto no trabalho de Haas et al., e sim um baseado na idéia primitiva de *gossiping*: jogar uma moeda e decidir aleatoriamente se propaga ou não a mensagem. A implementação dessa solução consiste na disseminação de cada publicação para toda a rede, de forma que o publicador começa essa disseminação enviando a publicação para todos os seus vizinhos. Ao receber uma publicação, um nó continua a disseminação, propagando-a novamente, com uma probabilidade F_{prob} . Quando $F_{prob} = 1$, essa solução comporta-se como um algoritmo de inundação (*flooding*). Como na PSAMANET, publicações duplicadas (recebidas mais de uma vez) são descartadas. Nessa implementação as assinaturas não são propagadas, elas são apenas armazenadas localmente (portanto não existem assinaturas estrangeiras). Essa solução está descrita no Algoritmo 4.1.

Algoritmo 4.1 Roteamento Ad Hoc baseado em Rumor

Entrada: Publicação p

- 1: **se** Publicação p não foi recebida ainda **então**
 - 2: $r \leftarrow$ número real aleatório entre 0 e 1.
 - 3: **se** $r \leq F_{prob}$ **então**
 - 4: Propaga p
 - 5: **fim se**
 - 6: **fim se**
-

O cenário dos experimentos é o mesmo utilizado na fase de calibragem dos parâmetros. E como já mencionado, a PSAMANET será analisada com as sete diferentes configurações descritas na Tabela 4.4.

Nessa fase dos experimentos, os resultados apresentados são a média de 33 execuções, cada uma sobre uma diferente instância do mesmo cenário. Os intervalos de confiança também são definidos com um nível de confiança de 95%⁵. Esse número maior de experimentos foi escolhido não somente para obter médias com desvios padrões menores, mas também para utilizar a distribuição normal para o cálculo dos intervalos de confiança.

A Figura 4.4 mostra os resultados obtidos para a implementação do Algoritmo 4.1. Uma primeira observação é que os intervalos de confiança são bem maiores do que nos demais experimentos (tanto os da fase anterior como os que ainda serão mostrados). Esses intervalos maiores são devido ao fato de que a solução baseada em rumor tem uma dependência muito maior da topologia, pois nós isolados (um nó é considerado isolado quando está longe do

⁵Novamente em alguns gráficos o intervalo é muito pequeno e não é perceptível.

alcançe do rádio de qualquer nó da rede que esteja conectado ao nó publicador) no momento da publicação nunca são alcançados. E um caso mais drástico ainda é quando o nó publicador está longe do alcance do rádio de qualquer outro nó e, dessa forma, nenhum nó da rede recebe a publicação enviada. Outra observação é que a taxa de casamento atingida foi sempre inferior a 60%. E ainda, o número de transmissões cresce com velocidade maior do que a taxa de casamento.

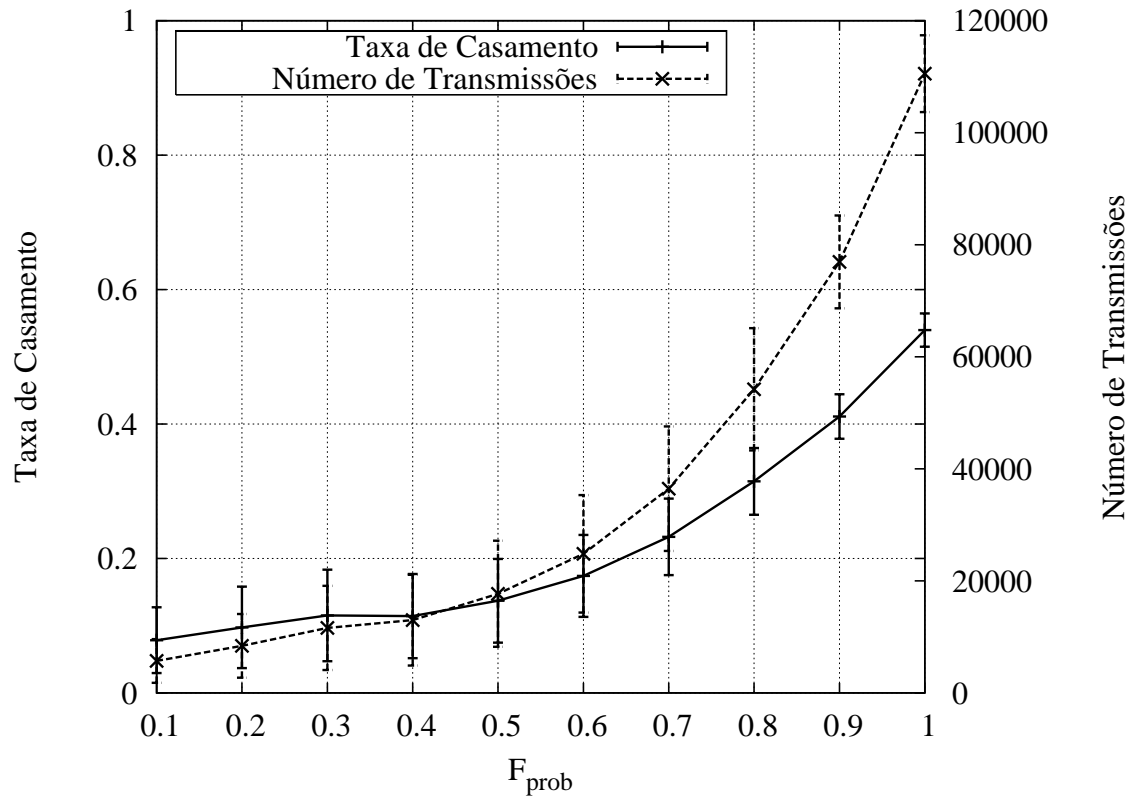


Figura 4.4: Resultados dos experimentos da solução baseada no Gossip

A Tabela 4.5 mostra os resultados obtidos para as sete configurações da PSAMANET. Os resultados foram os esperados refletindo os resultados da fase de calibragem. Porém, agora, com médias mais confiáveis e intervalos de confiança ainda menores.

Comparando os resultados obtidos pela arquitetura proposta e pela solução baseada em

Configuração	Número de Transmissões	Taxa de Casamento
I	37,869 ± 234	0,4896 ± 0,0036
II	99,375 ± 632	0,7892 ± 0,0032
III	195,729 ± 991	0,8774 ± 0,0033
IV	119,013 ± 931	0,8659 ± 0,0035
V	193,974 ± 1,181	0,9242 ± 0,0024
VI	207,611 ± 1,508	0,9539 ± 0,0020
VII	330,740 ± 2,137	0,9741 ± 0,0017

Tabela 4.5: Resultados da PSAMANET

rumor, fica claro que a PSAMANET tem desempenho superior a outra. A maior taxa de casamento atingida pela solução baseada em rumor foi de 54% com $F_{prob} = 1,0$ (Algoritmo de inundação, *flooding*) realizando aproximadamente 110 mil transmissões. A configuração II da PSAMANET obteve uma taxa de casamento de 79% enviando 11 mil mensagens a menos. Com apenas 9 mil transmissões a mais do que a solução baseada em rumor com $F_{prob} = 1$ foi possível alcançar uma taxa de casamento de 86% com a configuração IV. Além disso, a PSAMANET foi capaz de atingir taxas de casamento maiores do que 95%, porém realizando mais de 200 mil transmissões.

A arquitetura proposta conseguiu atingir altas taxas de casamento em um cenário onde existe uma baixa semelhança de interesses (no cenário utilizado, uma publicação é do interesse de cerca de 20% dos nós). Esse é um bom resultado dado que outros trabalhos na literatura só conseguem esse nível de taxas de casamento em redes com uma semelhança muito maior (por exemplo, 80% no cenário considerado em Baehni et al. (2005)).

Observando o comportamento da configuração III, podemos ver que apesar de utilizar baixos valores para o par (BP_{tam}, BP_{max}) , o número de transmissões já é bastante elevado devido à alta probabilidade de aceitação, $A_{prob} = 0,9$. Comparando essa configuração com o desempenho das configurações onde $BP_{tam} = 300$, temos que com $A_{prob} = 0,2$ a taxa de casamento atingida é quase a mesma da configuração III utilizando muito menos transmissões. E quando $A_{prob} = 0,4$, o número de transmissões é levemente inferior porém com uma taxa de casamento expressivamente maior. Ou seja, para a densidade do cenário modelado, altos valores para a probabilidade de aceitação acarretam um número excessivo de transmissões com taxas de casamento maiores mas não compensatórias.

É importante ressaltar que a fronteira de 200 mil transmissões indica um limiar onde, após esse valor, a média de envio de cada publicação por nó da rede passa a ser maior do que um. Ou seja, caso todas as disseminações de publicações fossem feitas através de inundações perfeitas, a taxa de casamento seria de 100% com essas 200 mil transmissões. Porém, como pode ser visto pelos resultados da solução baseada em rumor, inundações em redes móveis ad hoc são longe de serem perfeitas devido à constante existência de nós isolados em momentos específicos. Portanto, para atingir altas taxas de casamento, até mesmo soluções como a baseada em rumor despenderiam um número alto de transmissões (até maior do que a média de um envio por nó por publicação).

Na subseção seguinte será mostrado a análise do comportamento da PSAMANET para diferentes cenários de movimentação variando a intensidade de movimento na rede.

4.4.1 Variando a Intensidade de Movimentação

Nesta subseção serão apresentados os resultados obtidos na análise do desempenho das sete configurações escolhidas da PSAMANET (de acordo com a Tabela 4.4) em cenários diferentes de movimentação.

Diferentes aplicações podem ser suscetíveis a diferentes cenários de movimentação. A maior diferença está na intensidade de movimentação ligada à relação do número de nós parados e o número de nós se movendo. Por exemplo, a movimentação de médicos e enfermeiras em um hospital é muito mais intensa do que a de alunos em um campus de uma universidade que passam períodos determinados parados dentro da sala de aula. Portanto, é importante analisar propostas para MANETs em cenários com diferentes intensidades de movimentação.

No modelo de movimentação *Random Waypoint* essa relação pode ser variada utilizando diferentes valores para o tempo de pausa médio p . Por esse motivo, a PSAMANET será analisada para diferentes valores de p .

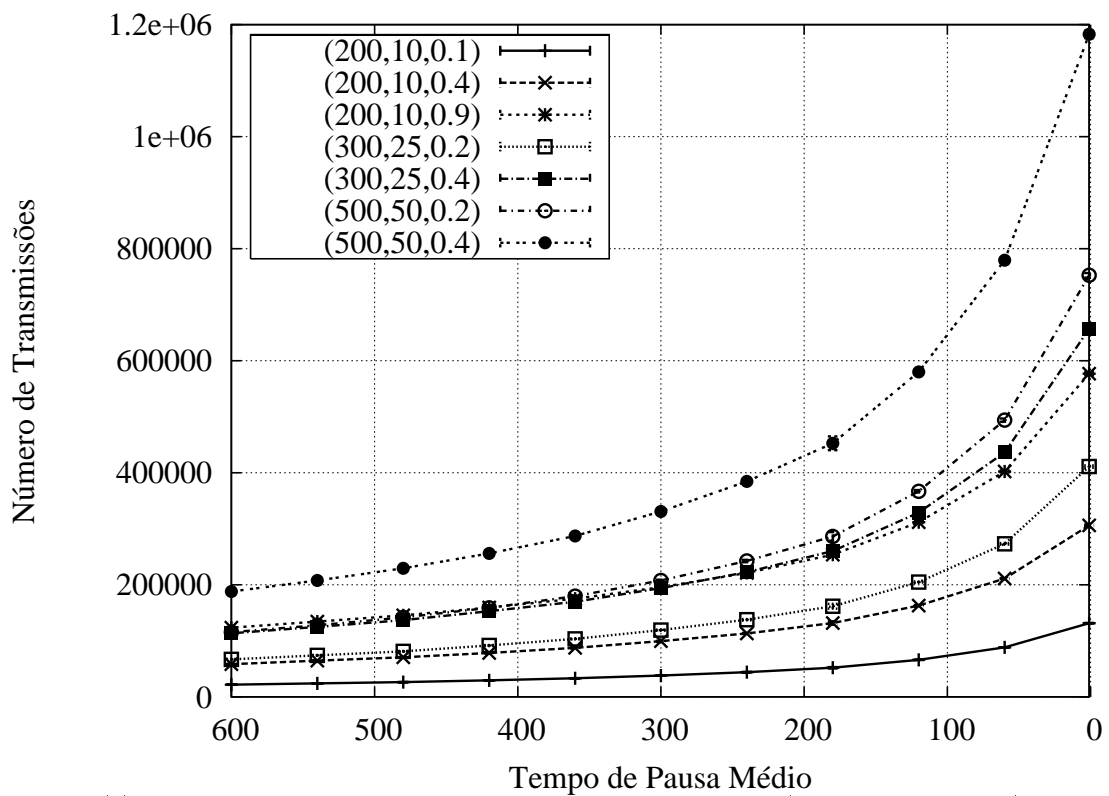
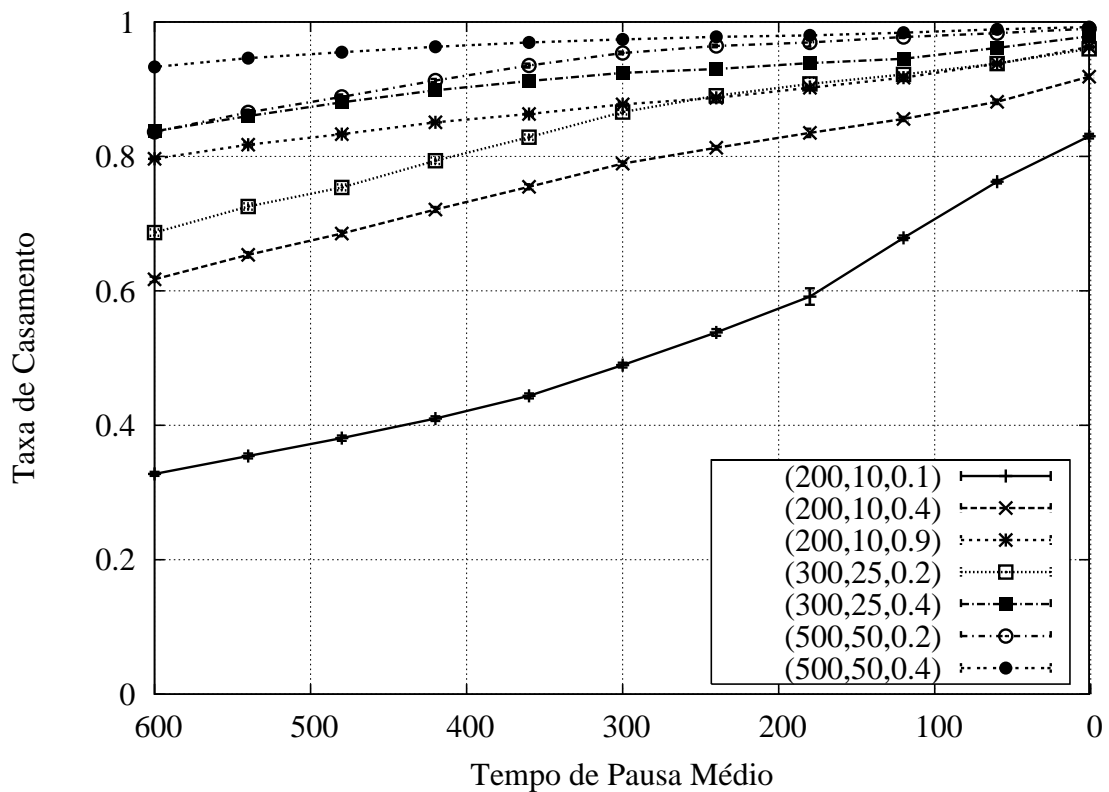
A Figura 4.5 mostra os gráficos com o desempenho da PSAMANET para os diferentes valores de p . O eixo x mostra os valores de p na ordem decrescente pois a idéia é mostrar o crescimento da intensidade de movimentação (que é inversamente proporcional ao valor de p). Na Figura 4.5(a) pode-se observar o número de transmissões realizadas à medida que a intensidade de movimentação aumenta. As curvas seguem o padrão de crescimento exponencial com expoentes maiores quanto maiores forem os valores do par (BP_{tam}, BP_{max}) (exceto para a configuração III que possui probabilidade de aceitação de assinaturas muito maior do que as demais configurações). A Figura 4.5(b) mostra o comportamento em relação à taxa de casamento quando varia-se a intensidade de movimentação. Diferentemente do crescimento das curvas em relação ao número de transmissões, a taxa de casamento cresce muito mais lentamente (exceto a configuração I que teve crescimentos expressivos em relação à taxa de casamento com cenários com movimentação mais intensa).

Relacionando a taxa de casamento alcançada e o número de transmissões realizadas com a variação da intensidade de mobilidade vemos que quanto mais intensa for a movimentação, as melhores soluções são as com valores baixos de BP_{tam} , BP_{max} e A_{prob} . Isso ocorre pois quanto menor o tempo de pausa médio, mais próximos foram os resultados referentes à taxa de casamento enquanto o número de transmissões continua a crescer bastante. Além do número de transmissões crescerem rapidamente, a diferença entre as configurações também aumenta, fazendo com que configurações com valores baixos de BP_{tam} , BP_{max} e A_{prob} sejam ainda mais atraentes.

Considerando os extremos temos que as configurações mais adequadas são bastante diferentes. Com $p = 1$, temos que a configuração um já atinge uma taxa de casamento superior a 80% realizando poucas transmissões. A configuração II já alcança uma taxa de casamento superior a 90%, porém já passa a fronteira de 200 mil transmissões realizando um pouco mais de 300 mil transmissões. Para atingir taxas de casamento maiores do que 95% seria necessário utilizar a configuração IV que realiza pouco mais de 400 mil transmissões. No outro extremo, com $p = 600$, a configuração I apesar de realizar um número muito baixo de transmissões

alcança uma taxa de casamento inferior a 40%. Para um cenário onde o número de transmissões deve ser restrito, as configurações II e IV são mais adequadas pois atinge uma taxa de casamento de 62% e 68% com um número ainda baixo de transmissões de 58 mil e 67 mil, respectivamente. Caso o objetivo seja manter altas taxas de casamento, o ideal é a configuração VII que tem uma taxa de casamento de 93% e realiza um número de transmissões ainda inferior a fronteira de 200 mil transmissões.

Nesses experimentos, pudemos observar que a variação da intensidade de movimentação tem grande impacto no desempenho da PSAMANET. Isso já era esperado, pois toda a idéia da arquitetura se baseia que seja necessário uma quantidade de movimentação suficiente para disseminar as publicações por toda a rede. Porém, o que também ficou evidente, é que a PSAMANET é flexível o suficiente para ser adaptada a diferentes cenários.

(a) $p \times$ Número de Transmissões para diferentes configurações $(BP_{tam}, BP_{max}, A_{prob})$ (b) $p \times$ Taxa de Casamento para diferentes configurações $(BP_{tam}, BP_{max}, A_{prob})$ Figura 4.5: Resultados dos experimentos da PSAMANET para diferentes valores de pausa média p

Capítulo 5

Considerações Finais

5.1 Contribuições do Trabalho

Este trabalho propôs um arquitetura publicar/assinar para redes móveis ad hoc, chamada de PSAMANET. A proposta é utilizar a movimentação para auxiliar na disseminação de publicações pela rede para que, dessa forma, elas cheguem a ao maior número de nós interessados. Uma arquitetura desse tipo pode fazer uso das três dimensões de desassociação do paradigma Publicar/Assinar - desassociação temporal, espacial e síncrona - para resolver os desafios apresentados pelas redes móveis ad hoc como conexão intermitente, dificuldade de endereçamento e múltiplas interfaces de comunicação.

A maior dificuldade no desenvolvimento de uma arquitetura publicar/assinar em MANETs é a de entregar a informação produzida ao consumidor interessado dado que não existe qualquer infra-estrutura que auxile nesse processo, a comunicação é sempre *hop a hop*. Apesar da expressividade ser um fator importante em um serviço de notificação, ela foi desconsiderada neste trabalho pois soluções para esse problema desenvolvidas para redes fixas podem mais facilmente serem adaptadas às MANETs. Portanto, o problema que este trabalho visa resolver é o de como levar as publicações aos usuários que demonstram interesse em seu conteúdo através de assinaturas.

A solução proposta visa utilizar a movimentação dos nós, característica intrínseca às MANETs, para entregar as publicações aos nós interessados realizando poucas transmissões. A movimentação é utilizada fazendo com que nós armazenem publicações quando recebidas para, no futuro, após se deslocarem para uma nova região da rede, propagá-las alcançando novos nós. A PSAMANET também utiliza assinaturas para informar à vizinhança de um nó sobre o seu interesse. Dessa forma, quando um vizinho receber uma publicação que é do interesse desse nó, o vizinho propaga a publicação para ele.

A arquitetura proposta foi implementada e testada via simulações. Uma primeira fase de experimentos foi realizada para a escolha dos parâmetros relacionados às estruturas que armazenam e organizam as publicações e as assinaturas. Sete configurações de parâmetros foram escolhidas para que cada uma dessas fosse adequada a aplicações distintas com diferentes requisitos. Após essa fase, a PSAMANET teve seu desempenho comparado com uma solução

consolidada na literatura que trata-se de um algoritmo baseado em rumor (*Gossip-based solution*). Em seguida, outra bateria de experimentos foi realizada para analisar o impacto de intensidades de movimentação diversas no desempenho da arquitetura proposta.

Os resultados de desempenho mostram que a PSAMANET atinge taxas de casamento maiores e com um número menor de transmissões do que a solução baseada em rumor. Além disso, a PSAMANET foi capaz de atingir altas taxas de casamento (acima de 97%) mesmo em uma rede com baixa taxa de interesse (20%). Foi mostrado que a arquitetura proposta conseguiu atingir uma taxa de casamento 46% maior com um número de transmissões 10% inferior.

Observou-se também que a intensidade de movimentação tem uma grande influência no desempenho da PSAMANET. É esperado que a movimentação impacte qualquer arquitetura ou algoritmo propostos para MANETs. O que foi mostrado, juntamente com os experimentos de calibragem, é que a arquitetura proposta é flexível e pode ser adaptada a diferentes cenários de movimentação e de restrições.

Portanto, a PSAMANET mostrou ser capaz de atingir altas taxas de casamento e ser flexível o suficiente para se adequar às mais diferentes aplicações com requisitos distintos e sob cenários diversos. A seção seguinte evidencia alguns pontos a serem ainda trabalhados e algumas propostas para o desenvolvimento de uma arquitetura publicar/assinar para aplicações de tempo real.

5.2 Trabalhos Futuros

A variação da intensidade de movimentação mostrou que a forma como a movimentação é simulada reflete diretamente nos resultados obtidos. Por isso, um trabalho futuro é a verificação do impacto de modelos de movimentação diferentes do modelo *Random Waypoint* utilizado neste trabalho. Possíveis modelos podem ser desde variações do próprio *Random Waypoint* como um cuja distribuição de probabilidade da velocidade do nó leve em conta a distância (detalhes sobre essa modificação estão descritos no Apêndice A), até novos modelos que, por exemplo, considerem plantas de edifícios e densidades diferentes de usuários na área da rede.

Outra análise interessante a ser feita é o comportamento do grafo de disseminação das publicações e suas variações dependendo do modelo e da intensidade da movimentação. O grafo de disseminação das publicações seria um grafo onde os vértices seriam os próprios nós, e arestas entre eles indicariam que um nó recebeu uma publicação do outro. Espera-se encontrar padrões de redes como as redes aleatórias de Erdős-Rényi (Erdős e Rényi, 1960) com modelos de movimentação como o RWP e talvez, com modelos mais reais, *small-worlds* de Milgram (Milgram, 1967). Além da análise do comportamento, modificações podem ser planejadas baseadas na configuração dos grafos encontrada.

Nessa direção, ficou claro durante o desenvolvimento deste trabalho que o estudo aprofundado da simulação de movimentação ainda é necessário para o desenvolvimento de ferramentas que gerem cenários que espelhem melhor o comportamento real. As simulações de movimenta-

ção devem refletir o comportamento humano e as interações sociais existentes (características como popularidade de locais, periodicidade da intensidade de movimentação e inviabilidade de algumas rotas devem ser consideradas por um modelo que tente refletir com mais precisão a movimentação real de pessoas).

Outra direção a ser seguida é a do desenvolvimento de arquiteturas publicar/assinar para aplicações de tempo real. Para isso, a movimentação não pode ser utilizada como ela foi neste trabalho, pois o atraso devido à movimentação (depende sempre da velocidade dos nós) tornaria inviável qualquer aplicação desse tipo. Algumas propostas estão sendo estudadas e o objetivo é avaliá-las futuramente. Nelas, técnicas de junção e de filtragem serão muito mais importantes do que foram neste trabalho.

Apêndice A

Modelo de Movimentação *Random Waypoint*

A movimentação é uma importante característica de redes que utilizam dispositivos computacionais portáteis como *notebooks*, *handhelds* e celulares. A mobilidade fez surgir diversos novos desafios que tornaram necessário o desenvolvimento de políticas que tratem esses desafios. Por exemplo, *Mobile IP* (Perkins, 2002) foi a primeira proposta formal para adaptar a arquitetura de rede TCP/IP para os desafios criados pela interação de usuários móveis com redes de comunicação.

Dada a importância da movimentação em redes desse tipo, como MANETs, pesquisas que trabalhem com propostas para esse ambiente devem considerar em suas simulações (quando houverem) modelos de simulação de movimentação de nós. A maneira, intensidade e velocidade com as quais os nós se movimentam pela rede devem refletir as características da movimentação real de usuários no cenário considerado.

Com esse objetivo, foi definido o modelo de movimentação *Random Waypoint* (RWP). Esse modelo foi desenvolvido por Johnson e Maltz (1996) que necessitava de um modelo de movimentação para avaliar sua proposta de algoritmo de roteamento para MANETs. Em um segundo trabalho do mesmo laboratório (Broch et al., 1998) o modelo foi formalizado. No seu modelo original, o RWP escolhe uniformemente um ponto qualquer da rede e em seguida escolhe (também uniformemente) uma velocidade dentre o intervalo de 0 a uma velocidade máxima V_M ($[0, V_m]$). Quando o nó chega ao ponto de destino ele então permanece imóvel por um período p previamente definido. Portanto, uma instância do modelo é definida por dois parâmetros: V_M e p .

Yoon et al. (2003) mostram que o modelo de movimentação RWP original não atinge um estado constante em relação à velocidade dos nós que compõem a rede. Os autores detectaram que no decorrer da simulação a velocidade média dos nós diminui expressivamente. Então eles propuseram uma simples mudança onde não é utilizado zero como a velocidade mínima. Com isso já foi possível observar que para alguns cenários um estado em que a velocidade média permanecia constante pode ser alcançado. Os autores ainda propõem outras melhorias baseando-se no motivo que detectaram ser responsável pelo decaimento da velocidade média:

nós viajando grandes distâncias a baixa velocidades permanecem por muito tempo lentos. Portanto, uma proposta alternativa foi a de escolher velocidades para os nós utilizando uma distribuição que leve em consideração a distância que o nó irá percorrer. Ou seja, nós que viajam longas distâncias tenderão a ter velocidades maiores enquanto nós que percorrem pequenas distâncias terão velocidades menores.

O modelo de movimentação RWP é o modelo mais estudado e mais utilizado em simulações em que os nós da rede utilizada se movem. Existem trabalhos que propõem fórmulas fechadas que indicam a distribuição de nós pela rede ao longo do tempo (Bettstetter et al., 2003; Foh et al., 2005). Uma questão levantada é que no modelo original, ao longo do tempo, a distribuição dos nós por uma área bidimensional deixa de ser uniforme e começa a apresentar densidades maiores na região central da área definida.

Apesar de todos os problemas do RWP, ele ainda é o mais frequentemente utilizado nos trabalhos que utilizam a movimentação. Neste trabalho, foi utilizada uma versão mais atualizada do RWP que foi adicionada ao simulador NS2 por J. Yoon (primeiro autor do trabalho sobre o estudo da velocidade média dos nós, Yoon et al. (2003)). Com isso, nas simulações foram definidas velocidades mínimas V_m e máximas V_M (a velocidade era escolhida seguindo uma distribuição normal) e uma pausa média p (a pausa é escolhida uniformemente dentro do intervalo $[0, 2p]$). Maiores detalhes podem ser encontrados no Capítulo 4.

Índice Remissivo

- árvore de Steiner, 11
- árvore geradora mínima, 11
- algoritmo de inundação, **32**, 34
- anúncio, **3**, 9
- arquitetura Publicar/Assinar, **3**
- assinante, **3**
- assinar, **3**
- assinatura, **3**, 14, 15
 - estrangeira, **15**, 17
 - local, **15**, 17
- assinaturas
 - tamanho dos intervalos - I , 23
- baseada em assuntos, *veja* baseada em tópicos
- baseada em tópicos, **5**, 9
- baseada em tipos, **5**
- baseadas em conteúdo, **6**
- broker, **4**, 8
- Buffer de Publicações, **16**, 20, 25
 - máximo de transmissões - BP_{max} , **16**, 26
 - tamanho do buffer - BP_{tam} , **16**, 26
- calibragem de parâmetros, **25**
- consumidor, *veja* assinante
- dimensões de desassociação, **5**, 9, 10
 - espacial, 5
 - síncrona, 5
 - temporal, 5
- distribuição t de Student, 25
- entrega de notificações, **4**
- eventos ativadores, **18**
 - assinatura, **18**
 - publicação, **18**
 - recebimento de mensagem, **18**
- expressividade, **5**
- filtro, **3**
- flooding
 - seealgoritmo de inundação, 32
- Gossip-based ad hoc routing
 - seeRoteamento Ad Hoc baseado em Rumor, 32
- Herald, **9**
- intervalo de confiança, 25, 32
- junção, **3**, 10
 - perfeita, 4
- localidade, **10**
- location based services, *veja* serviços baseado em localização
- MANET, 22, 38
- MANETs, **2**, 14, 41
- mobile ip, **41**
- número de transmissões, **24**, 35
- notificação, **4**
- notificar, **4**
- NS-2, **22**
- NS2, 42
- Pastry, **10**
- Pontos de Encontro, *veja* Rendezvous Point
- produtor, *veja* publicador

PSAMANET, 2, **14**
publicação, **3**, 14
publicações
 valor máximo de publicação - R , 14
publicador, **3**
publicar, **3**
Publicar/Assinar, 3

Random Waypoint, 22, 35, **41**
Redes Móveis Ad Hoc, *veja* MANETs
Rendezvous Point, 4, 9
Roteamento Ad Hoc baseado em Rumor, **32**
RWP, *veja* Random Waypoint

Scribe, **9**
seleção de notificações, **4**
serviço de notificação, **4**
serviço de notificação de eventos, *veja* serviço
 de notificação
serviços baseado em localização, **11**
Siena, **9**

Tabela de Assinaturas, **17**, 20, 25
 probabilidade de aceitação - A_{prob} , **18**
 tempo de validade - A_{ttl} , **17**
taxa de casamento, **24**
The Network Simulator, *veja* NS-2

Referências Bibliográficas

- Baehni, S.; Chhabra, C. S. e Guerraoui, R. (2005). Frugal Event Dissemination in a Mobile Environment. In *Middleware*, pp. 205–224.
- Bettstetter, C.; Resta, G. e Santi, P. (July-Sept. 2003). The node distribution of the random waypoint mobility model for wireless ad hoc networks. *Transactions on Mobile Computing*, 2(3):257–269.
- Broch, J.; Maltz, D. A.; Johnson, D. B.; Hu, Y.-C. e Jetcheva, J. (1998). A performance comparison of multi-hop wireless ad hoc network routing protocols. In *MobiCom '98: Proceedings of the 4th annual ACM/IEEE international conference on Mobile computing and networking*, pp. 85–97, New York, NY, USA. ACM.
- Cabrera, L. F.; Jones, M. B. e Theimer, M. (2001). Herald: Achieving a global event notification service. In *HOTOS '01: Proceedings of the Eighth Workshop on Hot Topics in Operating Systems*, p. 87, Washington, DC, USA. IEEE Computer Society.
- Caporuscio, M.; Carzaniga, A. e Wolf, A. L. (2003). Design and evaluation of a support service for mobile, wireless publish/subscribe applications. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 29(12):1059–1071.
- Carriero, N. e Gelernter, D. (1989). Linda in context. *Commun. ACM*, 32(4):444–458.
- Carzaniga, A.; Rosenblum, D. S. e Wolf, A. L. (2001). Design and evaluation of a wide-area event notification service. *ACM Trans. Comput. Syst.*, 19(3):332–383.
- Castro, M.; Druschel, P.; Kermarrec, A.-M. e Rowstron, A. I. T. (Oct 2002). Scribe: a large-scale and decentralized application-level multicast infrastructure. *Selected Areas in Communications, IEEE Journal on*, 20(8):1489–1499.
- Cugola, G. e Jacobsen, H.-A. (2002). Using publish/subscribe middleware for mobile systems. *SIGMOBILE Mob. Comput. Commun. Rev.*, 6(4):25–33.
- Demers, A. J.; Gehrke, J.; Hong, M.; Riedewald, M. e White, W. M. (2006). Towards expressive publish/subscribe systems. In Ioannidis, Y. E.; Scholl, M. H.; Schmidt, J. W.; Matthes, F.; Hatzopoulos, M.; Böhm, K.; Kemper, A.; Grust, T. e Böhm, C., editores, *EDBT*, volume 3896 of *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 627–644. Springer.

- Erdős, P. e Rényi, A. (1960). On the evolution of random graphs. In *Magy. Tud. Akad.*, volume 5, p. Mat. Kut. Intez. Kozl. Mat. Kut. Intez. Kozl.
- Eugster, P.; Guerraoui, R.; Kermarrec, A.-M. e Massoulié, L. (May 2004). Epidemic information dissemination in distributed systems. *Computer*, 37(5):60–67.
- Eugster, P. T.; Felber, P. A.; Guerraoui, R. e Kermarrec, A.-M. (2003). The many faces of publish/subscribe. *ACM Comput. Surv.*, 35(2):114–131.
- Fiege, L.; Gärtner, F. C.; Kasten, O. e Zeidler, A. (2003). Supporting mobility in content-based publish/subscribe middleware. In Endler, M. e Schmidt, D., editores, *Middleware 2003*, number 2672 in LNCS, pp. 103–122. Springer-Verlag.
- Foh, C. H.; Liu, G.; Lee, B. S.; Seet, B.-C.; Wong, K.-J. e Fu, C. P. (Jan. 2005). Network connectivity of one-dimensional manets with random waypoint movement. *Communications Letters, IEEE*, 9(1):31–33.
- Goldsmith, A. e Wicker, S. (2002). Design challenges for energy-constrained ad hoc wireless networks. *Wireless Communications, IEEE [see also IEEE Personal Communications]*, 9(4):8–27.
- Grossglauser, M. e Tse, D. N. C. (2002). Mobility increases the capacity of ad hoc wireless networks. *IEEE/ACM Trans. Netw.*, 10(4):477–486.
- Gruber, R.; Krishnamurthy, B. e Panagos, E. (1999). The architecture of the ready event notification service.
- Gupta, P.; Kumar, P. (Mar 2000). The capacity of wireless networks. *Information Theory, IEEE Transactions on*, 46(2):388–404.
- Haas, Z. J.; Halpern, J. Y. e Li, L. (2006). Gossip-based ad hoc routing. *IEEE/ACM Transactions on Network.*, 14(3):479–491.
- Huang, Y. e Garcia-Molina, H. (2003). Publish/subscribe tree construction in wireless ad-hoc networks. In *MDM '03: Proceedings of the 4th International Conference on Mobile Data Management*, pp. 122–140, London, UK. Springer-Verlag.
- Huang, Y. e Garcia-Molina, H. (2004). Publish/subscribe in a mobile environment. *Wireless Networks*, 10(6):643–652.
- Johnson, D. B. e Maltz, D. A. (1996). Dynamic source routing in ad hoc wireless networks. In Imielinski e Korth, editores, *Mobile Computing*, volume 353. Kluwer Academic Publishers.
- Khelil, A.; Becker, C.; Tian, J. e Rothermel, K. (2002). An epidemic model for information diffusion in manets. In *MSWiM '02: Proceedings of the 5th ACM international workshop on Modeling analysis and simulation of wireless and mobile systems*, pp. 54–60, New York, NY, USA. ACM.

- Kim, M. e Noble, B. (2001). Mobile network estimation. In *MobiCom '01: Proceedings of the 7th annual international conference on Mobile computing and networking*, pp. 298–309, New York, NY, USA. ACM Press.
- Milgram, S. (1967). The small world problem. *Psychology Today*, 1:61–67.
- Mühl, G. (2001). Generic constraints for content-based publish/subscribe. In *CoopIS '01: Proceedings of the 9th International Conference on Cooperative Information Systems*, pp. 211–225, London, UK. Springer-Verlag.
- Munson, J. P. e Gupta, V. K. (2002). Location-based notification as a general-purpose service. In *WMC '02: Proceedings of the 2nd international workshop on Mobile commerce*, pp. 40–44, New York, NY, USA. ACM.
- Narasimhan, R. e Cox., D. (1999). Speed Estimation in Wireless Systems Using Wavelets. *IEEE Transactions on Communications*, 47(9):1357–1364.
- ns 2 (2007). The network simulator. <http://www.isi.edu/nsnam/ns>.
- Oliveira, R. R.; Pereira, R. R. e Loureiro, A. A. (2007). Adaptive configuration of wpans and wlans communications using multi-scale statistical process control. In *MSWiM '07: Proceedings of the 10th ACM Symposium on Modeling, analysis, and simulation of wireless and mobile systems*, pp. 138–142, New York, NY, USA. ACM.
- Perkins, C. (May 2002). Mobile ip. *Communications Magazine, IEEE*, 40(5):66–82.
- Ramanathan, R.; Redi, J. (May 2002). A brief overview of ad hoc networks: challenges and directions. *Communications Magazine, IEEE*, 40(5):20–22.
- Rowstron, A. I. T.; Kermarrec, A.-M.; Castro, M. e Druschel, P. (2001). Scribe: The design of a large-scale event notification infrastructure. In *NGC '01: Proceedings of the Third International COST264 Workshop on Networked Group Communication*, pp. 30–43, London, UK. Springer-Verlag.
- Terpstra, W. W.; Behnel, S.; Fiege, L.; Zeidler, A. e Buchmann, A. P. (2003). A peer-to-peer approach to content-based publish/subscribe. In *DEBS '03: Proceedings of the 2nd international workshop on Distributed event-based systems*, pp. 1–8, New York, NY, USA. ACM.
- Yoon, J.; Liu, M. e Noble, B. (30 March-3 April 2003). Random waypoint considered harmful. *INFOCOM 2003. Twenty-Second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. IEEE*, 2:1312–1321 vol.2.