

Gerenciamento Oportunístico em Redes Tolerantes a Atrasos/Desconexões através da Utilização de Tecnologia Par-a-Par na Previsão de Encontros entre Nós

Jéferson C. Nobre¹, Fábio J. Bertinatto², Pedro Arthur P. R. Duarte¹,
Lisandro Z. Granville¹, Liane M. R. Tarouco¹

¹Instituto de Informática – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
Porto Alegre – RS – Brasil

²Instituto de Informática – Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS)
São Leopoldo – RS – Brasil

jcnobre@inf.ufrgs.br, fabiojrb@gmail.com
paprduarte@inf.ufrgs.br, granville@inf.ufrgs.br
liane@penta.ufrgs.br

Resumo. *As Redes Tolerantes a Atrasos/Desconexões (Delay/Disruption Tolerant Networks - DTNs) são caracterizadas por longos atrasos e pelas constantes desconexões. DTNs possuem necessidades de gerenciamento análogas às redes tradicionais, contudo, suas características intrínsecas dificultam a execução de tarefas de gerenciamento. A utilização de tecnologia Par-a-Par (Peer-to-Peer - P2P) pode ser uma alternativa para o gerenciamento de DTNs, já que a mesma promove a autonomia das entidades de gerenciamento (i.e., pares de gerenciamento), possibilitando o emprego de informações locais na execução de tarefas de gerenciamento de forma oportunística. O presente trabalho propõe uma solução para estimar os contatos futuros entre nós baseando-se em uma análise estatística dos contatos anteriores. A solução proposta foi implementada em um sistema de gerenciamento P2P de código aberto. Além disso, um conjunto público de traces DTN foi utilizado para a realização de experimentos. Os resultados obtidos demonstram que a solução proposta pode aprimorar a execução de tarefas de gerenciamento em DTNs.*

Abstract. *Delay/Disruption Tolerant Networks (DTNs) are characterized by long delays and constant disconnections. DTNs have management needs analogous to traditional computer networks, but, their intrinsic characteristics hinder the execution of management tasks. The utilization of Peer-to-Peer (P2P) technology may be an alternative for DTN management, since it promotes the autonomy of management entities (i.e., management peers), enabling the employment of local information on the opportunistic execution of management tasks. This paper proposes a solution to estimate future contacts among nodes based on statistical analysis of previous contacts. The proposed solution was implemented using an open source P2P-based network management system. Besides that, a public set of DTN traces was used for the execution of experiments. The obtained results show that the proposed solution can improve the execution of management tasks on DTNs.*

1. Introdução

As infraestruturas de rede evoluíram de forma considerável nos últimos anos, principalmente no que diz respeito ao seu tamanho, heterogeneidade e complexidade. Além disso, a diversidade de cenários nos quais essas infraestruturas operam aumentou de forma significativa. Por exemplo, atualmente é possível operar em cenários de Redes com Desafios (*Challenged Networks*) [Chen et al. 2006], nos quais estão ausentes as premissas normalmente encontradas em redes convencionais, tais como baixo atraso na comunicação e conectividade permanente entre os nós. Entretanto, a ausência dessas premissas não é considerada nas soluções de gerenciamento de redes utilizadas atualmente. Redes que possuem conexões ocasionais entre os nós e atraso elevado na comunicação dos mesmos podem ser englobadas no conceito de Redes Tolerantes a Atrasos/Desconexões (*Delay/Disruption Tolerant Networks - DTNs*) [Cerf et al. 2007].

As soluções de gerenciamento de redes atuais não estão preparadas para lidar com os desafios encontrados nas DTNs. Essas soluções, como as normalmente utilizadas na arquitetura TCP/IP (*e.g.*, SNMP), necessitam estabelecer laços de controle através da infraestrutura de rede. No entanto, a alta latência na comunicação e a conectividade intermitente dificultam o estabelecimento desses laços e, conseqüentemente, a utilização dos mecanismos de gerenciamento das redes usuais. Apesar disso, as capacidades de gerenciamento encontradas na Internet (*e.g.*, monitoramento e configuração remota) também são necessárias nas DTNs [Wood et al. 2009]. Dessa forma, soluções de gerenciamento de redes adequadas aos desafios presentes nas DTNs são necessárias, as quais podem ser compostas de novos mecanismos de gerenciamento ou adaptações de mecanismos existentes [Clark 2011].

O emprego de abordagens de Gerenciamento Distribuído de Redes (*Distributed Network Management - DNM*) é uma das possibilidades para efetivar o gerenciamento de DTNs. De fato, alguns autores já propuseram a utilização de abordagens tradicionais de DNM para realizar o gerenciamento de DTNs específicas [Peoples et al. 2010]. No entanto, a complexidade das DTNs exige que a execução de tarefas de gerenciamento possua características ausentes no DNM tradicional (*e.g.*, suporte a conectividade intermitente). Entre as abordagens DNM, o Gerenciamento de Redes baseado em *Peer-to-Peer* (*P2P-Based Network Management - P2PBNM*) é conhecido por estender os sistemas de gerenciamento de redes utilizando tecnologia P2P [Granville et al. 2005]. Essa tecnologia propicia algumas características desejáveis para o gerenciamento de DTNs, como, por exemplo, melhoria na conectividade das entidades de gerenciamento em redes com topologias dinâmicas. Além disso, o P2PBNM possibilita que suas entidades constituintes (*i.e.*, pares de gerenciamento) utilizem e compartilhem entre si dados e lógica locais com o propósito de possibilitar a execução oportunística de tarefas de gerenciamento, o que pode ser interessante em redes com conectividade intermitente.

A execução das tarefas de gerenciamento em DTNs poderia obter melhores resultados se fosse conhecido o padrão de contatos entre os nós. Por exemplo, entidades de gerenciamento poderiam economizar recursos de processamento e de rede restringindo o envio de requisições de monitoramento apenas aos períodos nos quais os contatos são mais prováveis. No entanto, os mecanismos e ferramentas de gerenciamento de redes utilizados na Internet não consideram informações sobre a frequência com que os contatos entre os nós da rede ocorrem. Dessa forma, a execução das tarefas de gerenciamento em DTNs poderia obter melhores resultados se os nós tivessem conhecimento sobre a proba-

bilidade de contato com outros nós. Lógica e dados locais poderiam ser utilizados pelos próprios nós para coletar e processar informações dos contatos ocorridos e, assim, estimar os contatos futuros.

O presente artigo propõe a utilização de informações e lógica locais em uma extensão P2PBNM que permite estimar o momento adequado para realização de tarefas distribuídas de gerenciamento entre nós de uma DTN. Para isso, informações relativas aos contatos entre nós são coletadas localmente por diferentes formas (*e.g.*, utilizando mecanismos de monitoração ativa ou passiva). Neste contexto, a principal contribuição do nosso trabalho é prover mecanismos para melhorar o desempenho da execução de tarefas distribuídas de gerenciamento em DTNs. Além disso, apresentamos uma adaptação de um mecanismo de monitoração P2P que utiliza a nossa proposta. Dessa forma, pretende-se demonstrar que é possível reutilizar mecanismos de gerenciamento existentes em DTNs sem modificações através do emprego da solução proposta.

A solução proposta neste trabalho foi implementada utilizando-se como plataforma de desenvolvimento o *ManP2P-ng*, um sistema P2PBNM de código aberto. A implementação foi desenvolvida a fim de explorar a flexibilidade intrínseca do emprego de tecnologia P2P no gerenciamento da rede. Dessa forma, a solução pode ser utilizada por diferentes componentes do *ManP2P-ng* e em tarefas de gerenciamento diversas. A fim de avaliar a solução proposta no presente trabalho, experimentos e análises teóricas foram realizados utilizando um conjunto de *traces* [Zhang et al. 2007] relativos à operação de uma Rede Veicular *Ad Hoc* (*Veicular Ad Hoc Network* - VANET) [Shao et al. 2009]. Esses *traces* são disponibilizados publicamente pelo projeto *DieselNet*¹.

O presente artigo é organizado da seguinte forma. Na Seção 2 é apresentada a revisão teórica. Na Seção 3 é apresentada a solução proposta. Na Seção 4 são apresentados os experimentos realizados a fim de avaliar a solução proposta. Finalmente, conclusões e trabalhos futuros são apresentados na Seção 5.

2. Fundamentação Teórica

Infraestruturas de rede necessitam de adaptações para manterem sua dependabilidade em ambientes onde atrasos na comunicação e frequentes desconexões dos nós são as características dominantes dos enlaces. Essas infraestruturas podem ser representadas por diferentes terminologias, tais como: Redes com Conectividade Eventual, Redes Desconectadas, Redes com Conectividade Transiente, Redes Extremas, Redes Incomuns e Redes com Desafios. Entretanto, o termo Redes Tolerantes a Atrasos/Desconexões (*Delay/Disruption Tolerant Networks* - DTNs) é utilizado com maior frequência na literatura [Oliveira et al. 2007].

As arquiteturas DTN usualmente definem uma camada situada acima da camada de transporte denominada Camada de Agregação (*Bundle Layer*) [Cerf et al. 2007]. As Unidades de Dados de Aplicação (*Application Data Units* - ADUs) da camada de agregação são conhecidas como agregados (*bundles*). No contexto do *Internet Engineering Task Force* (IETF), o *DTN Research group* (DTNRG), organizado como parte do *Internet Research Task Force* (IRTF), tem produzido diversos documentos relativos a conceitos DTN e sua implementação, tais como nomenclatura, encapsulamento e estratégias de armazenamento persistente [Cerf et al. 2007]. No entanto, aspectos relativos

¹DieselNet - <http://prisms.cs.umass.edu/dome/umassdieselnet>

ao Gerenciamento de DTNs ainda não estão integrados em uma arquitetura padronizada.

A utilização de tecnologia P2P no gerenciamento de redes pode prover um substrato para enfrentar os desafios relativos ao Gerenciamento de DTNs. No restante da Seção, inicialmente são apresentados os conceitos e as propostas associadas ao gerenciamento de DTNs. Em seguida, as propriedades e funcionalidades do Gerenciamento de Redes baseado em P2P são descritas.

2.1. Gerenciamento de DTNs

Os desafios encontrados na comunicação dos nós em uma DTN impactam diretamente na execução das tarefas de gerenciamento dessas redes. Neste contexto, a utilização dos protocolos de gerenciamento convencionais sobre uma camada de agregação tolerante a atrasos e desconexões não é suficiente. A execução de tarefas de gerenciamento em DTNs precisa enfrentar a principal restrição dessas redes: a dificuldade em estabelecer efetivamente laços de controle através da infraestrutura de rede [Birrane and Cole 2010]. Esses laços de controle podem ser compreendidos como um ciclo que inicia com o acesso e coleta de dados gerenciais dos dispositivos, seguido de uma análise desses dados e, por fim, a execução de tarefas gerenciais eventualmente necessárias. Dessa forma, as estratégias e mecanismos de gerenciamento utilizados atualmente necessitam de adaptações para uma utilização efetiva em DTNs.

O DTNRG produziu diversas *Request for Comments* (RFCs) sobre conceitos relativos a DTNs e sua implementação. Contudo, em relação ao gerenciamento de DTNs foram criados apenas três *Internet Drafts*, explicados a seguir. O *Internet Draft “DTN - Network Management Requirements”* [Ivancic 2009] descreve os requisitos gerais e as propriedades necessárias no gerenciamento de DTNs. Além disso, o autor descreve as características que podem ser encontradas em sistemas DTN e sugere itens que devem ser considerados, especialmente para monitoramento e tarefas de configuração. O *Internet Draft “Initial Requirements for Remote Network Management in Delay-Tolerant Networks”* [Clark 2011] discute um conjunto de requisitos iniciais e considerações para o projeto de protocolos de gerenciamento específicos para DTNs assim como a adaptação de protocolos de gerenciamento convencionais para o uso nessas redes. Além disso, o protocolo *Diagnostic Interplanetary Network Gateway* (DING) [Clark et al. 2010], também descrito em um *Internet Draft*, foi proposto para tratar de questões de atrasos e interrupções no contexto de um tipo específico de DTN, a Internet Interplanetária (*InterPlanetary Internet* - IPN).

Diversos autores afirmam que funcionalidades de gerenciamento semelhantes às encontradas em redes IP seriam interessantes em DTNs (*e.g.*, através da utilização do SNMP) [Wood et al. 2009]. A execução de tarefas de gerenciamento em DTNs pode ser aprimorada com o uso de informações locais (dados e lógica). Por exemplo, Peoples *et al.* [Peoples et al. 2010] propuseram uma extensão para gerenciamento de DTNs chamada de *Context-Aware Broker* (CAB). O CAB incorpora informações ambientais da rede e dos requisitos das aplicações para configurar a transmissão dos dados automaticamente. Apesar das propostas apresentadas, é possível afirmar que não existe solução padronizada para o gerenciamento de DTNs ou mesmo um padrão *de facto*.

2.2. Gerenciamento de redes baseado em P2P

Os Gerenciamento de Redes baseado em P2P (P2P-based Network Management - P2PBNM) [Granville et al. 2005] surgiu com o propósito de estender os modelos tradi-

cionais de gerenciamento distribuído de redes integrando aos mesmos os serviços introduzidos pelos sistemas P2P [Granville et al. 2005]. Esses sistemas são caracterizados por sua escalabilidade e auto-organização, além de sua tolerância a falhas. Os pares de gerenciamento nos sistemas P2PBNM são entidades que possuem um papel duplo: eles operam como entidades de gerenciamento e também participam da comunicação entre os demais pares da rede P2P [Granville et al. 2005].

Sistemas P2PBNM geralmente apresentam um alto grau de descentralização na execução das tarefas de gerenciamento. Dessa forma, os recursos necessários para a execução dessas tarefas são fornecidos pelos pares de gerenciamento assim como os mesmos podem compartilhar recursos entre si e trocar informações diretamente. Essa descentralização também promove a autonomia local dos pares, incrementando o uso de informações locais para a tomada de decisões de gerenciamento.

O uso de informação local (dados e lógica) pode aprimorar a execução de tarefas de gerenciamento em infraestruturas de rede. Em função das possíveis desconexões e atrasos, são necessários comportamentos e controles mais autônomos e próximos aos dispositivos gerenciados. Além disso, pares de gerenciamento não necessitam contactar entidades centralizadas de gerenciamento, o que é particularmente interessante considerando que esse contato pode ser lento ou intermitente. De acordo com as condições da infraestrutura de rede, as decisões de gerenciamento podem considerar somente informações locais ou também utilizar informações remotas (*i.e.*, oriundas de outros pares).

3. Solução Proposta

Soluções de gerenciamento de redes necessitam trocar mensagens entre entidades de gerenciamento e dispositivos gerenciados a fim de executar tarefas de gerenciamento. Para que os nós de uma Rede Tolerantes a Atrasos/Desconexões (*Delay/Disruption Tolerant Network* - DTN) possam trocar informações é necessário que haja um contato entre eles. Dessa forma, durante os contatos, além da troca de mensagens relativa às aplicações da DTN, também é necessária a troca de informações de gerenciamento. Como esses contatos podem ser esporádicos e com intervalos variáveis em DTNs, a execução das tarefas de gerenciamento pode ser prejudicada.

A definição de contato utilizada no presente trabalho é uma condição propícia para dois nós estabelecerem uma conexão e trocarem dados. De acordo com o DTN-NRG, contatos em uma DTN podem ser classificados em 5 categorias: contatos persistentes, contatos sob demanda, contatos programados, contatos oportunistas e contatos previsíveis [Cerf et al. 2007]. Considerando essas categorias, DTNs com contatos oportunistas (*i.e.*, contatos inesperados) impõem grandes desafios a execução de tarefas de gerenciamento, já que essa execução pode ser prejudicada pela frequência e/ou duração dos contatos.

O presente trabalho propõe uma solução para melhorar o desempenho da execução das tarefas de gerenciamento em DTNs através de estimativas estatísticas de contatos. Essas estimativas permitem que tarefas de gerenciamento oportunístico sejam realizadas próximas ao momento estimado dos contatos entre os nós das DTNs utilizando o histórico de contatos passados. Tecnologia Par-a-Par (*Peer-to-Peer* - P2P) é utilizada a fim de possibilitar a utilização de dados e lógica local pelas entidades de gerenciamento (*i.e.*, pares de gerenciamento) para produzir as estimativas estatísticas em cada par.

Algumas hipóteses são assumidas, como as seguintes. A proposta descrita no trabalho considera que existe algum grau de repetibilidade nos encontros entre nós, dessa forma, considerando uma infraestrutura com contatos totalmente aleatórios não haveria ganho efetivo. Além disso, algum mecanismo de monitoração é necessário para prover dados sobre a ocorrência dos encontros.

O restante da seção estende as definições sobre a utilização de estimativas estatísticas de contatos para gerenciamento oportunístico. Além disso, uma implementação da proposta utilizando um sistema de Gerenciamento de Redes Baseado em P2P (*P2P-Based Network Management - P2PBNM*) é discutida.

3.1. Estimativa estatística de contatos para gerenciamento oportunístico

Estimativas estatística de contatos podem ser utilizadas para auxiliar as entidades de gerenciamento a saber o momento aproximado do próximo contato com os dispositivos gerenciados em uma DTN. Dessa forma, entidades de gerenciamento podem consultar essas estimativas a fim de realizar as tarefas de gerenciamento em um momento oportuno e conseqüentemente para aumentar o desempenho dessas tarefas. A solução proposta no presente trabalho possui dois algoritmos: um algoritmo que registra os contatos com os pares remotos e outro algoritmo que calcula o momento do próximo contato, baseando-se nos dados já registrados.

O Algoritmo 1 exemplifica através de um pseudocódigo o procedimento realizado para o registro de contatos com os pares remotos. Para cada par remoto são mantidas duas listas, uma lista contendo a data e hora dos contatos e outra lista contendo o intervalo de tempo entre esses contatos. O objetivo de manter duas listas é evitar que os intervalos sejam calculados a cada vez que a rotina de estimativa seja executada. Como pode ser visualizado no Algoritmo 1, se o intervalo de tempo entre o contato sendo registrado e o contato anterior ultrapassar o intervalo máximo permitido, apenas a data e hora do contato atual é registrada, e não o intervalo.

Algoritmo 1 Armazena contatos

```

function ARMAZENACONTATO(par Remoto, dataHora)
  intervalo ← dataHora – dataHoraUltimoContato
  if intervalo > intervaloMaximo then
    contatosDatas[par Remoto] ← dataHora
  else
    contatosDatas[par Remoto] ← dataHora
    contatosIntervalos[par Remoto] ← intervalo
  end if
end function

```

O Algoritmo 2 auxilia na obtenção da estimativa aproximada do próximo contato baseando-se nos registros dos contatos ocorridos no passado. Os valores obtidos pela rotina apresentada no Algoritmo 2 podem ser utilizados para estimar quando será o próximo contato com o nó remoto. Diversas medidas estatísticas podem ser utilizadas como estimativa já que o Algoritmo 2 encapsula esta escolha. Podem ser citadas medidas de tendência central (*e.g.*, média e mediana), medidas de dispersão (*e.g.*, variância

e desvio-padrão) ou composições entre medidas diversas. Além disso, modelos estatísticos relacionados a distribuições específicas ou procedimentos associados a análise de variância (ANOVA) também poderiam ser realizados.

Algoritmo 2 Produz estimativa

```
function RETORNAINTERVALOESTIMADOCONTATO(par Remoto)i
    estimativa ← calculaEstimativa(contatosIntervalos[par Remoto])
    return estimativa
end function
```

As aplicações desenvolvidas para DTNs devem prezar pela economia de recursos computacionais dos nós nos quais elas operam, bem como prezar pelo uso racional dos recursos providos pela rede. Dessa forma, os algoritmos propostos não possuem uma necessidade significativa de recursos computacionais. De qualquer forma, é possível definir restrições para os recursos utilizados através da parametrização dos algoritmos. Por exemplo, os nós que hospedam os pares de gerenciamento podem possuir uma grande quantidade de memória disponível, assim pode ser mantido um histórico de contatos mais longo, possuindo assim uma quantidade adicional de informações a serem utilizadas nas estimativas dos contatos futuros.

3.2. Implementação

A solução descrita no presente trabalho, denominada de *Opportunistic Management Contact Estimator* (OMCE), foi implementada como prova de conceito no *ManP2P-ng*², um sistema P2PBNM de código aberto. Esse sistema foi escolhido por oferecer uma API para o desenvolvimento de novas aplicações além de já possuir suporte à transporte tolerante a atrasos/desconexões. O OMCE e suas relações dentro dos pares de gerenciamento são representados na Figura 1.

O OMCE utiliza lógica e dados locais para executar os dois algoritmos apresentados na presente Seção. Dessa forma, cada par de gerenciamento produz suas próprias estimativas sem necessitar conexões com entidades centralizadas de gerenciamento. Em relação ao Algoritmo 2, inicialmente três medidas foram desenvolvidas para estimar os contatos futuros: uma medida de tendência central (média), uma medida de dispersão (desvio-padrão) e um procedimento de análise de variância (intervalo de confiança). Além de utilizar diretamente essas medidas, composições entre as mesmas também podem ser utilizadas.

A implementação realizada também contempla um componente de monitoração para o *ManP2P-ng* (conforme mostrado na Figura 1). Esse componente foi desenvolvido a fim de avaliar o OMCE. O componente possui dois modos de operação. No primeiro modo de operação, são enviadas requisições ao dispositivo gerenciado de forma contínua, até uma requisição ser recebida pelo mesmo. No segundo modo de operação, o componente de monitoração envia as requisições de acordo com as estimativas fornecidas pelo OMCE, *i.e.*, no momento mais próximo do contato. Além disso, quaisquer outros componentes de gerenciamento podem utilizar o OMCE para ter acesso às estimativas de contatos futuros.

²<http://projects-redes.inf.ufrgs.br/gf/project/manp2png>

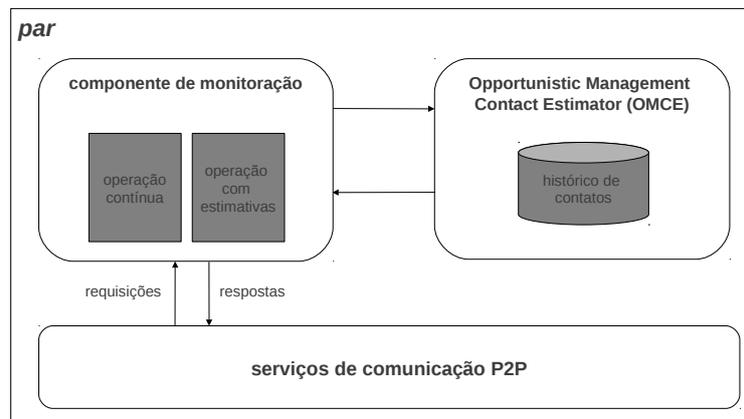


Figura 1. Consulta de informações disponibilizadas pelo OMCE.

4. Avaliação

O objetivo da presente avaliação é demonstrar as características desejáveis providas pelo *Opportunistic Management Contact Estimator* (OMCE) como mecanismo auxiliar à execução de tarefas de gerenciamento em Redes Tolerantes a Atrasos/Desconexões (*Delay/Disruption Tolerant Networks* - DTNs). Além disso, essa avaliação propõe-se também a apresentar a viabilidade técnica da integração do OMCE junto a um sistema de gerenciamento P2P.

A avaliação é composta de dois procedimentos distintos. Ambos os procedimentos utilizam *traces* de uma Rede Veicular *Ad Hoc* (*Veicular Ad Hoc Network* - VANET) como entrada. Inicialmente, é analisada uma avaliação da solução proposta através de um pós-processamento dos *traces* referidos. Em seguida uma avaliação experimental é descrita. Nos experimentos realizados, os *traces* são utilizados para definir um cenário DTN verossímil.

4.1. *Traces* de rede

O conjunto de *traces* utilizado para realizar a análise da solução proposta é constituído por registros reais de uma VANET denominada *UMass DieselNet* [Burgess et al. 2006] [Zhang et al. 2007]. A *UMass DieselNet* é composta por aproximadamente 40 ônibus que circulam nos arredores do campus *Amherst* da University of Massachusetts *UMass*. Cada ônibus está equipado com um dispositivo *Global Positioning System* (GPS), um ponto de acesso *wireless IEEE 802.11b*, uma interface *wireless IEEE 802.11b* e um computador com o sistema operacional Linux [Zhang et al. 2007].

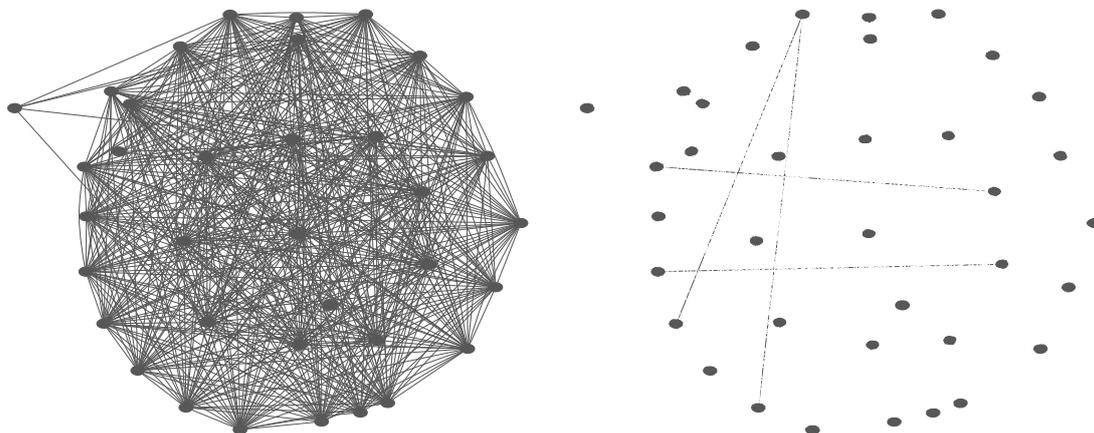
Os pontos de acesso dos ônibus comunicam seus *Service Set Identifiers* (SSID) em intervalos de 100 milissegundos. Enquanto isso, a interface *wireless* extra procura constantemente por SSIDs de outros ônibus, iniciando uma conexão TCP tão logo esses são encontrados. O ônibus receptor então registra o identificador de seu par, a data da conexão e, na perda da conectividade, a duração e a quantidade de *bytes* recebidos. Ao atingir conectividade com a Internet, os ônibus enviam seus registros de encontros para um repositório central [Zhang et al. 2007]. A coleta das informações desses *traces* ocorreu durante o primeiro semestre do ano de 2006, entre os dias 30 de Janeiro e 28 de Maio.

As informações registradas nos *traces* são divididas em diferentes arquivos, cada qual representando um dia de coleta específico. Cada entrada do arquivo representa um contato entre dois ônibus. Por exemplo, o registro a seguir informa que o ônibus 3120 esteve em contato com o ônibus 3113 nas coordenadas geográficas 72,53279 (latitude) e 42,393734 (longitude). Esse contato perdurou 20,233 milissegundos e foi iniciado 422 minutos e 53 segundos após as 00:00:00 horas do mesmo dia.

```
Bus 3120 at 72.53279 42.393734 on route 1 in contact with bus 3113 at 72.53279  
42.393734 on route 1 at time 422:53 for 1132968 bytes in 20233.0 ms
```

O primeiro processamento realizado foi a normalização dos dados. Essa normalização consistiu em agrupar contatos ocorridos em instantes próximos. O agrupamento foi realizado pois os *traces* possuem registrados diversos contatos ocorridos consecutivamente, *i.e.*, em um curto intervalo de tempo. As causas principais desta classe de contatos são as seguintes: ocorrência de percursos lado a lado, sombras de sinais devido a edificações, e outras condições ambientais. Dessa forma, contatos consecutivos entre dois ônibus em intervalos menores que um limiar empírico são considerados um único contato. O processo de agrupamento foi realizado diretamente nos *traces*, contudo, é viável realizar esse agrupamento em tempo real.

O grafo exibido na Figura 2 ilustra os contatos registrados nos *traces*, agregados em dois intervalos de tempo distintos. Nesse grafo, os vértices representam ônibus. Já as arestas representam o conjunto de contatos realizados entre os ônibus (ou seja, todos os contatos de um par de ônibus é representado por uma única aresta). A análise dos dados mostrou que existe conectividade entre todos os ônibus, *i.e.*, existe pelo menos um caminho para cada par de nós. Além disso, é possível verificar as características de desconexão, considerando os contatos agrupados em um pequeno intervalo de tempo.



(a) Contatos ocorridos em um grande intervalo de tempo.

(b) Contatos ocorridos em um pequeno intervalo de tempo.

Figura 2. Grafos representando os contatos dos ônibus.

4.2. Análise dos *traces*

A análise dos dados dos *traces* tem dois objetivos: verificar a viabilidade dos algoritmos apresentados na Seção 3 e definir os parâmetros ideais para que a solução proposta apresente os melhores resultados. Para realizar essa análise, inicialmente os *traces* foram

armazenados no Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados (*Data Base Management System - DBMS*) PostgreSQL³. Em seguida, utilizou-se um conjunto de scripts que executavam esses algoritmos diretamente na base de dados a fim de realizar uma análise *off-line* da solução proposta.

Duas implementações distintas foram testadas para Algoritmo 2, *i.e.*, o cálculo da estimativa do momento dos contatos futuros dos nós DTN. Nessas implementações os registros de contatos com intervalos maiores que 24 horas não foram contabilizados nos cálculos de estimativas de contatos futuros. Ou seja, dados dois registros, r_a e r_b , se $\Delta(r_a, r_b) \geq 24$ horas, então o registro r_b é descartado do cálculo. Esse valor foi obtido através de experimentos iniciais os quais demonstraram que a precisão dos resultados aumentou ao serem desconsiderados os contatos com intervalos maiores que 24 horas. A justificativa para este resultado é que as informações do tráfego dos ônibus nos finais de semana, feriados e recessos não estão presentes nos *traces*, influenciando visivelmente a precisão de sua análise.

A primeira implementação utiliza-se da média em conjunto com um intervalo de confiança (parametrizável) para obter o tempo aproximado dos futuros contatos dos nós DTN. Experimentos iniciais demonstraram melhores resultados com um intervalo de confiança de 95%. A Figura 3 apresenta os contatos entre dois nós contidos nos *traces* analisados: o ônibus com identificador 3046 e o ônibus com identificador 3041. Tais ônibus foram escolhidos por possuírem o maior número de contatos entre si. Para uma melhor visualização, a Figura 3 não apresenta os contatos cujos intervalos em relação ao contato anterior demoraram mais de 15 horas para ocorrer. Os resultados da análise demonstraram que dos 112 contatos registrados, 36 contatos ocorreram dentro do intervalo de tempo previsto pelo OMCE. Os resultados da análise demonstraram que dos 112 contatos registrados, 36 contatos ocorreram dentro do intervalo de tempo previsto pelo OMCE.

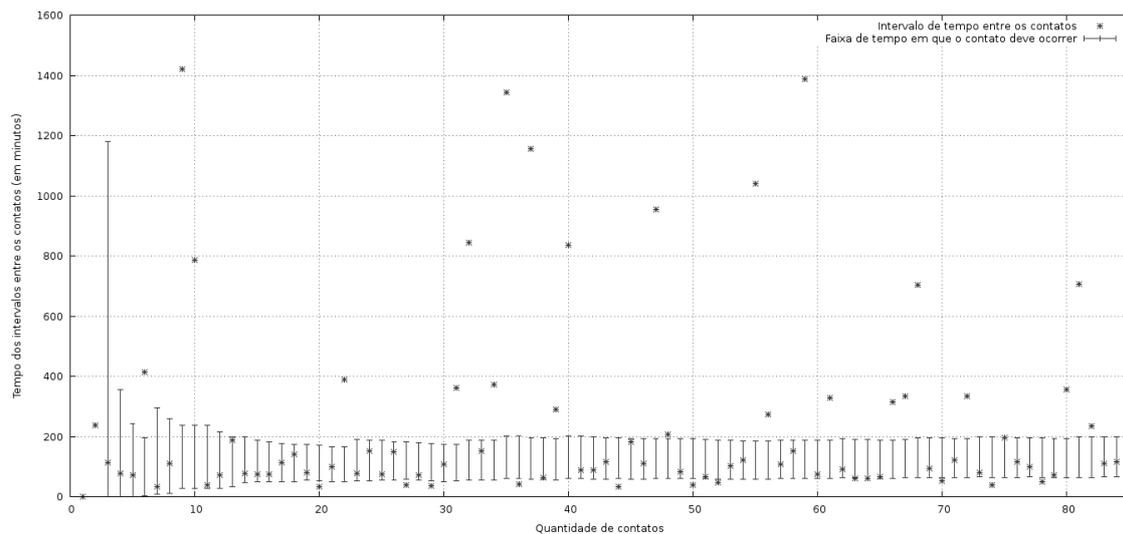


Figura 3. Estimativa de contatos utilizando intervalo de confiança.

A segunda implementação utiliza-se da média em conjunto com o desvio-padrão para definir o intervalo esperado dos futuros contatos dos nós DTN. Os resultados obti-

³PostgreSQL - <http://www.postgresql.org>

#	Sem OMCE	Com OMCE	#	Sem OMCE	Com OMCE
1	0	0	11	994	472
2	2777	2777	12	1799	1297
3	32179	32179	13	16510	15910
4	3158	3158	14	886	391
5	932	932	15	33020	32542
6	1804	1721	16	2129	1651
7	81833	81483	17	68484	67925
8	934	585	18	29140	28654
9	15179	14827	19	123028	122541
10	2655	2303	20	187112	186625

Tabela 1. Simulação do envio de requisições.

dos com essa implementação podem ser visualizados na Figura 4. Nos testes realizados, houve 44 acertos de um total de 112 contatos. Apesar do resultado ser ligeiramente superior àquele obtido com a primeira implementação, é seguro afirmar que as duas implementações possuem desempenho comparável em relação à estimativa fornecida.

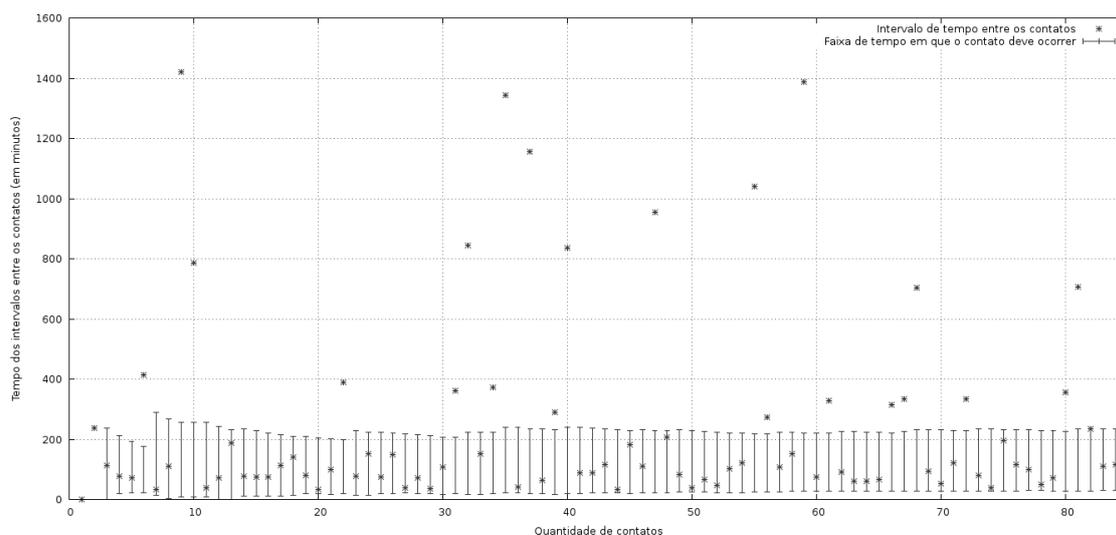


Figura 4. Estimativa de contatos utilizando média e desvio-padrão.

Uma segunda análise realizada sobre a base de dados simulou o envio de requisições realizadas por uma entidade de gerenciamento. Os mesmos ônibus utilizados na análise anterior foram utilizados na análise representada na Tabela 1. Para essa simulação foram executados os dois modos de operação definidos para o componente de monitoramento descrito na Seção 3: envio periódico de requisições sem estimativa de intervalo de contato e utilização de intervalo de contato antes de iniciar o envio de requisições. Nessa análise, constatou-se que a utilização do intervalo de contato possibilitou que a entidade de gerenciamento, nesse caso o ônibus 3046, enviasse menos requisições em 90,2% dos 112 contatos.

Os resultados das análises mostraram que estimar o intervalo no qual os contatos entre nós são mais prováveis pode elevar o desempenho de tarefas de gerenciamento con-

siderando os *traces* utilizados. Além disso, as análises auxiliaram na execução dos experimentos realizados no contexto do presente trabalho.

4.3. Experimentos

Os experimentos realizados nesta subseção fazem uso da solução proposta a fim de aprimorar a monitoração de um dispositivo gerenciado de uma infraestrutura DTN. Os *traces* apresentados na Subseção 4.1 foram utilizados como base para simular a descontinuidade na conectividade temporal entre os pares envolvidos nos experimentos. Neste cenário, a entidade de gerenciamento e o dispositivo gerenciado passam por diversas desconexões, ou seja, a troca de mensagens necessárias a realização de tarefas de gerenciamento pelos pares só pode ser realizada de forma oportunística.

Os pares contidos nos *traces* que possuem o maior número de desconexões entre si foram selecionados para representar a entidade de gerenciamento e o dispositivo gerenciado, a exemplo do que foi realizado na análise realizada na Subseção 4.2. A justificativa para essa escolha deve-se à premissa de que quanto mais informações de contatos, mais precisa a solução proposta deve ser. Para a realização dos experimentos, o *ManP2P-ng* foi executado na entidade de gerenciamento e no dispositivo gerenciado.

A avaliação foi realizada através de dois experimentos. No primeiro deles, a entidade de gerenciamento executou diversas requisições a um dispositivo gerenciado sem se utilizar das estimativas de contatos disponibilizadas pelo OMCE. Caso as respostas dessas requisições não fossem recebidas dentro de um intervalo pré-determinado, novas requisições eram enviadas. A tarefa de gerenciamento só era dada por finalizada quando a entidade de gerenciamento recebesse as respostas das requisições.

No segundo experimento, a entidade de gerenciamento executou suas requisições a um dispositivo gerenciado considerando agora as previsões providas pelo OMCE. No entanto, a entidade de gerenciamento iniciava o envio das requisições somente dentro da faixa de tempo sugerida pelo OMCE (*i.e.*, na qual o contato provavelmente ocorreria). Analogamente ao que ocorreu no primeiro experimento, o envio das requisições cessa apenas quando uma resposta é recebida pela entidade de gerenciamento.

O componente de monitoração citado na Subseção 3.2 enviou em cada experimento 112 requisições ao dispositivo gerenciado em intervalos iguais. Esse número de requisições foi escolhido pois é o número de contatos entre a entidade de gerenciamento e o dispositivo gerenciado. Caso o dispositivo gerenciado não estivesse conectado a rede, o componente de monitoração tentava enviar a requisição até que um contato entre a entidade de gerenciamento e o dispositivo gerenciado ocorresse e, conseqüentemente, uma das requisições fossem respondidas.

A Figura 5 representa o resultado de experimentos executados considerando 8 nós, agrupados 2 a 2. O número de requisições apresentado é o total gerado durante todo o experimento. Na primeira etapa dos experimentos (“com OMCE” na figura), o componente de monitoração considera a estimativa de contatos, *i.e.*, o momento mais apropriado para enviar as requisições. Na segunda etapa dos experimentos, (“sem OMCE” na figura) o componente de monitoração opera na abordagem tradicional. De acordo com os resultados, é possível perceber que o OMCE auxiliou o *ManP2P-ng* a diminuir a quantidade de requisições de forma significativa.

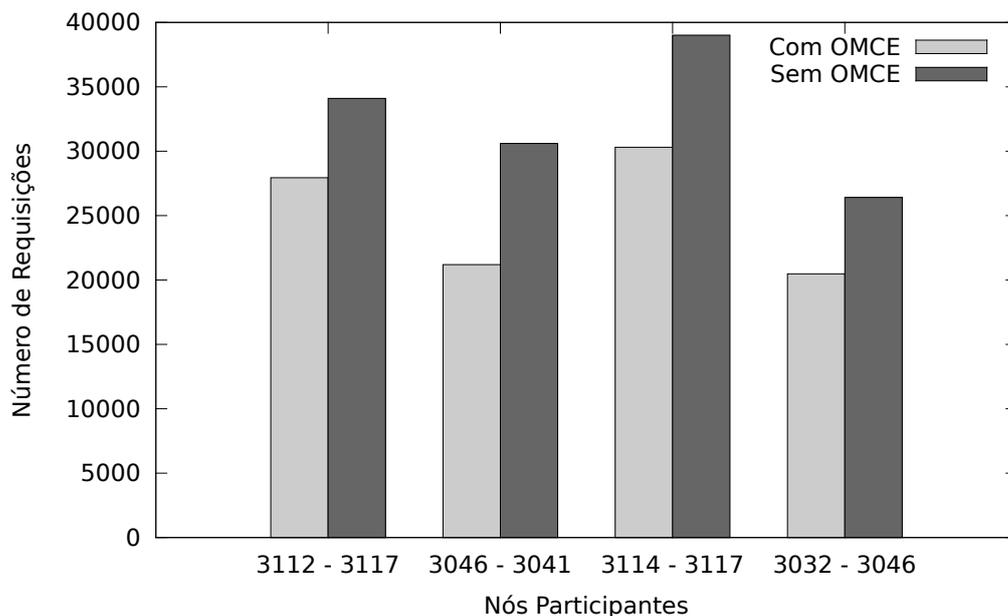


Figura 5. Resultados dos experimentos.

5. Conclusão

O suporte às demandas de gerenciamento em novas infraestruturas de rede é um tópico de investigação bastante importante na área de gerenciamento de redes. Uma dessas demandas é o suporte para a execução de tarefas de gerenciamento em ambientes com conexões ocasionais entre os nós, tais como os encontrados em Redes Tolerantes a Atrasos/Desconexões (*Delay/Disruption Tolerant Networks - DTNs*). No entanto, as soluções de gerenciamento de redes utilizadas atualmente não estão preparadas para operar nesses ambientes. Funcionalidades de gerenciamento oportunístico podem ser utilizadas para habilitar a execução de tarefas de gerenciamento em DTNs. Essas funcionalidades podem ser providas através do emprego de tecnologia Par-a-Par (*Peer-to-Peer - P2P*), a qual permite que informações locais sejam utilizadas para aprimorar o gerenciamento de DTNs.

O presente trabalho apresentou uma proposta para auxiliar a execução de tarefas de gerenciamento P2P oportunísticas em DTNs através da utilização de informações e lógica locais pelos pares de gerenciamento. A proposta consiste em estimar o momento adequado para realização das tarefas de gerenciamento considerando estimativas estatísticas produzidas a partir dos contatos ocorridos no passado. Além disso, a solução proposta foi implementada no *ManP2P-ng*, um sistema P2PBNM de código aberto. A fim de avaliar essa solução, experimentos foram realizados utilizando essa implementação em conjunto com *traces* DTN disponibilizados publicamente. Os resultados demonstraram que é possível aumentar o desempenho na execução de tarefas de monitoramento em DTNs através de uma maior eficiência no envio de requisições. A eficiência é particularmente importante no gerenciamento de DTNs, já que os dispositivos presentes nessas redes normalmente possui restrições em termos de recursos computacionais.

Apesar da presente proposta apresentar bons resultados nas avaliações realizadas até o presente momento, novas funcionalidades podem aprimorá-la. É possível incluir diferentes técnicas estatísticas para descrever e agrupar as informações dos encontros,

tais como novas medidas de tendência central e dispersão. Além disso, um mecanismo autônomo poderia ser utilizado para avaliar a eficácia das medidas utilizadas para estimar os contatos futuros e, dessa forma, realizar um processo adaptativo de seleção de técnicas estatísticas. Seria interessante também investigar o desempenho da proposta considerando outras VANETs, assim como sua viabilidade em DTNs que possuam características de conectividade distintas (*e.g.*, alta latência).

Referências

- Birrane, E. and Cole, R. G. (2010). Management of disruption-tolerant networks: A systems engineering approach. In *SpaceOps 2010 Conference, Alabama, United States*.
- Burgess, J., Gallagher, B., Jensen, D., and Levine, B. N. (2006). Maxprop: Routing for vehicle-based disruption-tolerant networks. In *INFOCOM 2006. 25th IEEE International Conference on Computer Communications. Proceedings*, pages 1–11.
- Cerf, V., Burleigh, S., Hooke, A., Torgerson, L., Durst, R., Scott, K., Fall, K., and Weiss, H. (2007). Delay-tolerant networking architecture. RFC 4838 (Informational).
- Chen, L.-J., Yu, C.-H., Sun, T., Chen, Y.-C., and Chu, H.-h. (2006). A hybrid routing approach for opportunistic networks. In *2006 SIGCOMM workshop on Challenged networks, CHANTS '06*, pages 213–220, New York, NY, USA. ACM.
- Clark, G. (2011). Initial requirements for remote network management in delay-tolerant networks. Work in progress as an Internet-Draft.
- Clark, G., Kruse, H., and Ostermann, S. (2010). Ding protocol – a protocol for network management. Work in progress as an Internet-Draft.
- Granville, L., da Rosa, D., Panisson, A., Melchior, C., Almeida, M., and Tarouco, L. (2005). Managing computer networks using peer-to-peer technologies. *Communications Magazine, IEEE*, 43(10):62–68.
- Ivancic, W. (2009). Dtn - network management requirements. Work in progress as an Internet-Draft.
- Oliveira, C. T. D., Moreira, M. D. D., Rubinstein, M. G., Henrique, L., Costa, M. K., and Carlos, O. (2007). Redes tolerantes a atrasos e desconexões. In *Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*, number 25, pages 203–256.
- Peoples, C., Parr, G., Scotney, B., and Moore, A. (2010). Operational performance of the context-aware broker (cab): A communication and management system for delay-tolerant networks (dtns). In *Advances in Satellite and Space Communications (SPACOMM), 2010 Second International Conference on*, pages 128–133.
- Shao, Y., Liu, C., Wu, J., Olariu, S., and Weigle, M. C. (2009). Delay-tolerant networks in vanets. In Olariu, S. and Weigle, M., editors, *Vehicular Networks: From Theory to Practice*, chapter Network Issues. Chapman and Hall/CRC, 1 edition.
- Wood, L., Eddy, W., and Holliday, P. (2009). A bundle of problems. In *Aerospace conference, 2009 IEEE*, pages 1–17.
- Zhang, X., Kurose, J., Levine, B. N., Towsley, D., and Zhang, H. (2007). Study of a bus-based disruption-tolerant network: mobility modeling and impact on routing. In *13th annual ACM international conference on Mobile computing and networking, MobiCom '07*, pages 195–206, New York, NY, USA. ACM.