

## NOVAS ABORDAGENS PARA A RECONEXÃO DE SUBÁRVORES NO ROTEAMENTO MULTICAST BASEADO EM ALGORITMOS GENÉTICOS

MARCOS L. P. BUENO\*, GINA M. B. OLIVEIRA\*

\**Faculdade de Computação  
Universidade Federal de Uberlândia  
Uberlândia, MG, Brasil*

Emails: marcoslbueno@gmail.com, gina@facom.ufu.br

**Abstract**— In this work, a genetic algorithm-based model for multicast routing with QoS requirements (delay and cost) is discussed. New methods for subtree reconnection are investigated, applicable on crossover and mutation operators, motivated by the possibility of generating invalid individuals on those operators. We describe how this failure can occur, quantifying it. Experiments with the original and two new methods proposed here are carried on, whose results indicate that the proposed methods overcame the original one, besides guaranteeing consistency of the proposed model.

**Keywords**— genetic algorithm, routing, quality of service.

**Resumo**— Neste trabalho, um modelo baseado em algoritmos genéticos para o problema do roteamento multicast com requisitos de QoS (*delay* e custo) é discutido. Novos métodos para reconexão de subárvores são investigados, aplicáveis aos operadores de recombinação e mutação, motivados pela possibilidade de indivíduos inválidos serem gerados por tais operadores. Descreve-se como esta falha pode ocorrer, quantificando-a. Experimentos com o método original de reconexão e dois novos métodos propostos são realizados, cujos resultados indicam que os métodos propostos superaram o original, além de garantir a consistência do modelo proposto.

**Keywords**— algoritmo genético, roteamento, qualidade de serviço.

### 1 Introdução

Em redes de computadores, uma transmissão multicast corresponde ao envio de dados entre uma origem e vários destinos, estando associada a, por exemplo, aplicações de vídeo, voz e jogos *online*. Frequentemente, está também presente nesse contexto o conceito de QoS (*Quality of Service* – QoS) (Tanenbaum, 2002), uma vez que aplicações como tais apresentam diferentes exigências, ou seja, tratamentos especiais às suas requisições. Assim, para conseguir oferecer um serviço com qualidade, a rede tem de garantir o desempenho das suas aplicações. Exemplos de requisitos nesse sentido são parâmetros como delay máximo, variação máxima de delay e largura de banda mínima.

O Problema do Roteamento Multicast (PRM), cujo objetivo é realizar a busca por rotas multicast que atendam tais requisitos, desempenha um importante papel nesse processo. No entanto, mesmo quando se considera apenas uma métrica (custo ou *hops count*, por exemplo), o PRM traduz-se como o Problema da Árvore de Steiner, o qual é NP-Difícil (Karp, 1972). Assim, em diversos protocolos de roteamento, tais como RIP, OSPF, MOSPF e DVMRP (Tanenbaum, 2002), são utilizados algoritmos que apesar de eficientes não garantem a otimalidade das rotas, motivando a abordagem do PRM considerando múltiplos requisitos de QoS simultaneamente.

Neste trabalho, discute-se um modelo para o PRM baseado em algoritmos genéticos (AGs) (Goldberg, 1989). O modelo desenvolvido é baseado no modelo proposto em (Ravikumar and Bajpai, 1998). A partir da reprodução e análise deste trabalho, foi detectada uma falha que pode surgir nos operadores de recombinação e mutação, gerando indivíduos inválidos. Desta forma, avalia-se o seu efeito

para, depois, propor-se dois operadores alternativos. Experimentos foram realizados com algumas topologias de rede, indicando que as alterações propostas superaram os operadores originais, possuindo a vantagem de não gerar indivíduos inválidos. Assim, este trabalho contribui no sentido de apresentar um novo modelo de AG no PRM que corrige lacunas e aperfeiçoa modelos anteriores, também mostrando a capacidade dos AGs em trabalhar na presença de indivíduos inválidos.

Este trabalho está assim organizado: na Seção 2 o PRM é formalizado. O modelo do AG para o PRM é apresentado na Seção 3. A reconexão de subárvores e a falha que pode ocorrer são detalhados na Seção 4. Por sua vez, os métodos de reconexão propostos são descritos na Seção 5. Os resultados experimentais são relatados na Seção 6. Por fim, na Seção 7, as considerações finais são apresentadas.

### 2 Formalização do problema

No contexto do PRM, a topologia da rede pode ser modelada como um grafo conexo não direcionado  $G = (V, E)$ , onde  $V$  é o conjunto de nós (roteadores, por exemplo) e  $E$  o conjunto de arestas, que representam os enlaces entre os nós. Um nó  $r$  recebe o nome de nó fonte. Define-se um conjunto  $D \subset V$ , o grupo multicast, onde cada elemento é chamado de destino. Podem existir vários pesos associados a cada aresta, tais como custo e *delay*. Na Figura 1, tem-se uma instância do PRM com  $r$  dado pelo nó 0 e  $D = \{1, 8, 9, 12, 13\}$ . Neste exemplo, existe um par de pesos ( $c(e), d(e)$ ) para cada aresta  $e$ , que representam, respectivamente, o custo e o *delay*.

Assim, objetiva-se encontrar uma árvore  $T = (V_T, E_T)$  de  $G$ , enraizada em  $r$ , de custo mínimo e que atenda a re-

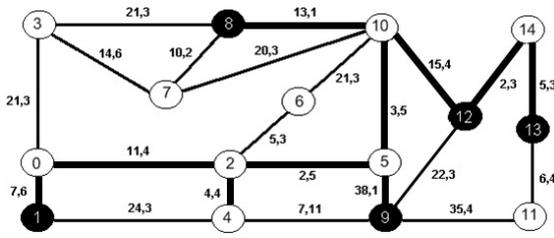


Figura 1: Instância do PRM – Rede 0.

strições de *delay* fim-a-fim para cada nó destino. No PRM aqui considerado, a cada aresta  $e$  estão associados os pesos custo e *delay*, traduzidos como funções  $c(e)$  e  $d(e)$  em  $N$ .

O custo de  $T$  é dado por:

$$custo(T) = \sum_{e \in E_T} c(e) \quad (1)$$

Para verificar se  $T$  respeita a restrição de *delay*, existe uma função  $d_{max}$  que associa um *delay* máximo fim-a-fim para cada  $t \in D$ . Para isto, é necessário calcular, para cada  $t$ , um caminho partindo de  $r$  até  $t$ , dado por  $p(r, t) = \{(r, u), (u, v), \dots, (z, t)\}$ . Assim, o *delay* fim-a-fim de cada destino é dado por:

$$delay(t) = \sum_{e \in p(r, t)} d(e) \quad (2)$$

Deste modo, formaliza-se o PRM como um problema de otimização:

**Minimizar**  $custo(T)$

**Sujeito a**  $delay(t) \leq d_{max}(t), \forall t \in D$

Resolver o PRM equivale a resolver o problema da Árvore de Steiner em Grafos (ASG) em sua versão de otimização, o qual é NP-Difícil (Karp, 1972), incluindo uma restrição adicional referente ao *delay* máximo para cada nó destino. Um exemplo de solução ótima para o PRM pode ser visto na Figura 1. Seguindo a partir do nó 0, as arestas em negrito formam uma árvore multicast de custo 69 que respeita a restrição de *delay* máximo igual a 25 ms para todos os destinos.

### 3 Roteamento multicast baseado em AGs

Algoritmos genéticos são métodos estocásticos de busca para resolução de problemas, inspirados na Teoria da Evolução de Darwin (Goldberg, 1989). Em um AG, primeiramente é necessário definir como uma solução potencial será codificada sob a forma de um indivíduo. Inicialmente, é gerada uma população com  $TP$  indivíduos, para os quais é atribuído um valor de aptidão. Em seguida, é realizado um procedimento de seleção de pares de pais para que seja gerada uma população de  $TO$  filhos, através da mistura das características dos pais pelo operador de

recombinação. Posteriormente, o operador de mutação introduz alterações no filhos gerados. Os indivíduos novos ou atualizados também são avaliados. Por fim, sobre a população de  $TP + TO$  é aplicada uma seleção dos indivíduos mais aptos (reinscrição). Ao ciclo definido por seleção dos pais, recombinação, mutação e reinscrição denomina-se geração. Aplica-se algum critério de término e apresentam-se as melhores soluções da população final. Um critério de término usual é interromper o algoritmo após  $NG$  gerações.

O modelo para roteamento aqui descrito é baseado no modelo proposto em (Ravikumar and Bajpai, 1998) e aperfeiçoado em (Zhengying et al., 2001), (Oliveira and Araújo, 2004) e (Oliveira and Vita, 2009). O indivíduo é codificado diretamente como uma árvore multicast. Cada indivíduo da população inicial é gerado por um algoritmo de busca aleatório, em que nós são inseridos na árvore até que todos os nós destinos estejam presentes. Em seguida, uma poda é aplicada sobre cada árvore obtida, de modo que todo nó folha seja um nó destino. O próximo passo é avaliar os indivíduos utilizando a seguinte função de avaliação:

$$F(T) = \frac{1}{custo(T)} \prod_{t \in D} (\omega(delay(t) - d_{max}(t)))$$

A expressão acima agrega as métricas custo e *delay*, de modo que o valor da aptidão de um indivíduo seja inversamente proporcional ao custo de sua árvore multicast ( $T$ ). Além disso, pode ser aplicada uma penalização (multiplicação por 0,5) para cada nó destino que não atender à restrição de *delay* máximo. A função de penalidade é representada por  $\omega(x)$ , onde  $\omega(x) = \{1, \text{ se } x \leq 0; 0,5 \text{ se } x > 0\}$

A seleção dos pais é feita por meio de torneio determinístico ( $tour = 3$ ). A partir de dois pais, o operador de recombinação gera um filho da seguinte forma: (i) identificação das subárvores comuns aos dois pais; (ii) reconexão destas subárvores para formar uma nova árvore que contenha a raiz e todos os nós destinos; (iii) aplicação de uma poda para eliminar eventuais nós inúteis. Um exemplo é mostrado na Figura 2 (Oliveira and Vita, 2009).

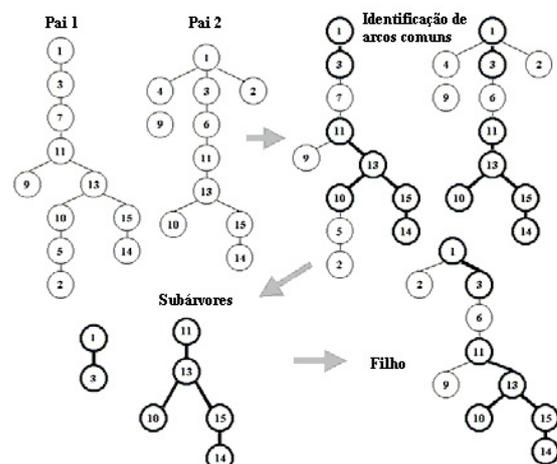


Figura 2: Etapas do operador de recombinação.

O operador de mutação consiste em selecionar um con-

junto de nós de uma árvore sorteada e eliminar todas as suas ligações, resultando em um número de subárvores. Similar à recombinação, tais subárvores devem ser reconectadas. Após a geração dos filhos, uma reinserção por elitismo é utilizada para iniciar a próxima geração do AG. Os parâmetros utilizados neste trabalho foram:  $TP$  e  $NG$  variando conforme o experimento, tamanho da elite  $N_e = 50\%$ , probabilidade de recombinação  $P_{cross} = 1$ , probabilidade de mutação por indivíduo  $P_{mut-ind} = 0.01$  e percentual de nós desconectados em uma mutação  $P_{mut-desc} = 0.2$ .

Dentre os diversos paradigmas utilizados no PRM (Fabregat et al., 2005), os AGs foram investigados tanto em abordagens mono-objetivo, quanto multi-objetivos (Cui et al., 2003), (Roy and Das, 2004). Os trabalhos que utilizam a abordagem mono-objetivo necessitam de uma função de avaliação única que agrega as métricas consideradas. Este trabalho utiliza tal abordagem e é baseado no modelo apresentado em (Ravikumar and Bajpai, 1998), onde foram definidos os operadores originais de recombinação e mutação discutidos neste texto. Tais operadores utilizam uma heurística e um algoritmo exato como tentativa de aceleração da convergência. A métrica considerada em tais trabalhos foi o custo, com restrições de *delay* máximo e largura de banda mínima requerida por nó.

#### 4 Reconexão de subárvores

Inicialmente, tem-se um conjunto  $s = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$  de subárvores, onde cada  $s_i$  é obtida a partir de um procedimento que determina as subárvores comuns a dois pais. Se a raiz  $r$  ou algum nó destino não estiver presente nessas subárvores, uma subárvore que contém apenas tal nó é criada e adicionada em  $s$ . A reconexão de duas subárvores  $s_i$  e  $s_j$  quaisquer consiste em adicionar um conjunto de arestas  $p$  ao subgrafo de  $G$  formado por  $s_i \cup s_j$  para que tal subgrafo passe a ser conexo. Para determinar  $p$ , algoritmos de menor caminho foram utilizados em diversos trabalhos. Em (Oliveira and Araújo, 2004) e (Oliveira and Vita, 2009) foi utilizado o algoritmo de Dijkstra (Cormen et al., 2001) para realizar esta tarefa, o qual possui complexidade  $O(|E| \log |V|)$  utilizando-se um *heap* binário.

A construção de uma nova árvore  $f$  ocorre a partir de sucessivas reconexões, como descrito a seguir. Seja  $s_1$  a subárvore que contém o nó fonte,  $s_2$  uma subárvore sorteada e  $f$  a subárvore que resultará desta reconexão. Aplica-se o algoritmo de Dijkstra para encontrar o menor caminho  $p$  entre os nós de  $s_1$  e de  $s_2$ . A decisão pela métrica usada como peso neste algoritmo é feita da seguinte forma (Ravikumar and Bajpai, 1998): se em pelo menos um dos pais todas as restrições de *delay* máximo são atendidas, a reconexão se dá pelo menor custo; caso contrário, pelo menor *delay*. Observe que  $p$  pode conter um nó de  $s_2$  que não seja sua raiz; neste caso,  $s_2$  deve ser rotacionada para que tal nó torne-se sua raiz. Enquanto houver subárvores a serem reconectadas, o processo é repetido, porém, com  $f$  como primeira subárvore e alguma  $s_i$  ainda não reconectada como segunda subárvore.

Observou-se que indivíduos inválidos podem ocorrer em função de uma repetição de nós ao utilizar esta heurística. Durante as reconexões, podem existir nós comuns a  $f$  e  $s_i$ , como se pode ver através de um exemplo na Figura 3. Nela, o rótulo “Início” ilustra o conjunto  $s$ , onde  $s_1$  contém o nó fonte e  $s_2$  foi sorteada para compor o par da primeira reconexão. A aplicação de Dijkstra para reconectá-las resulta em  $f$ , conforme o rótulo “1ª Reconexão”, onde  $p = \{(0, 5), (5, 7), (7, 9), (9, 4)\}$ . Na próxima iteração,  $f$  deve ser reconectada com  $s_3$ , a subárvore restante.

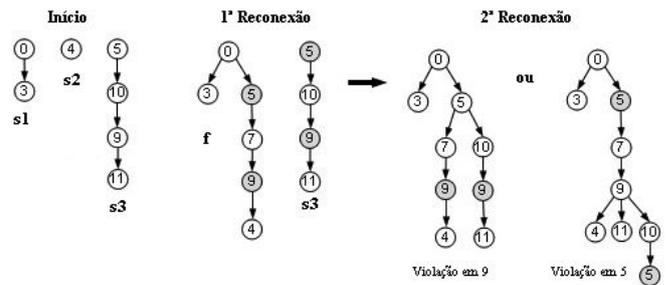


Figura 3: Conflito na reconexão de subárvores.

Ao tentar reconectar  $f$  e  $s_3$ , há dois caminhos de reconexão de menor custo:  $\{(5, 5)\}$  e  $\{(9, 9)\}$ . É nesse ponto que ocorre a falha, uma vez qualquer uma das duas escolhas leva à violação do indivíduo, como mostrado na Figura 3. Soluções inválidas violam o formato de solução especificado pelo problema, além de poderem possuir um custo maior (devido aos nós repetidos) e, para cada nó repetido, poder existir mais de um *delay* associado.

Para avaliar os efeitos desta falha, foram utilizadas três topologias de rede denominadas Rede 0 (Figura 1), Rede 1 e Rede 2. A escolha das redes 0 e 1 é justificada por terem sido utilizadas em vários trabalhos (vide Seção 3), e a Rede 2 ser uma combinação delas. A Rede 1 é formada por 18 nós (5 são destinos); a Rede 2 é formada por 33 nós (10 são destinos). Foram realizadas 100 execuções do AG e a seguinte estatística foi obtida: quantidade média de recombinações em cada geração que geram indivíduos inválidos. A curva referente a esta estatística é apresentada na Figura 4, para cada topologia. O gráfico indica que no decorrer das gerações há uma tendência de queda do percentual médio de filhos inválidos por geração. Como nas gerações iniciais há uma maior diversidade populacional, existe uma maior probabilidade de que violações ocorram nas reconexões.

Após a reinserção ao final de cada geração, calculou-se uma segunda estatística, referente à média de indivíduos inválidos remanescentes na população, para checar se tais soluções estavam sobrevivendo à seleção do AG. Obteve-se 16,3%, 29,3% e 68,7% para as redes 0, 1 e 2, respectivamente. Os dados mostram que os percentuais de indivíduos inválidos novos e remanescentes são significativos, especialmente em uma rede de dimensão maior, como na Rede 2, motivando o desenvolvimento de novos métodos de reconexão, apresentados a seguir.

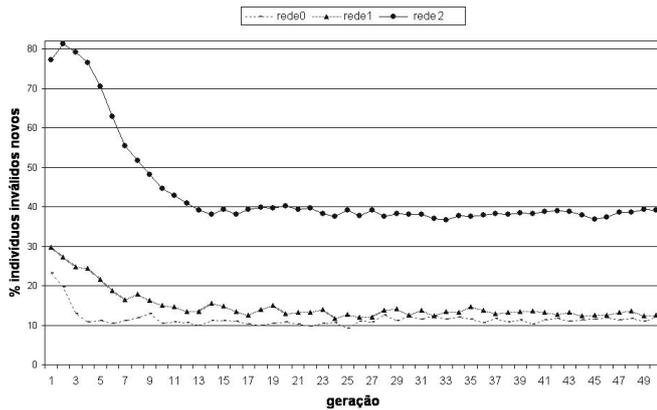


Figura 4: Produção média de indivíduos inválidos por geração.

## 5 Novos métodos para reconexão de subárvores

### 5.1 Método 2

Seja  $f$  a subárvore resultante das reconexões efetuadas até o momento e  $s_i$  a subárvore a ser reconectada na iteração corrente. No método 2, o caminho de reconexão calculado usando Dijkstra é sempre utilizado, porém eventuais arestas de  $s_i$  que invalidem  $f$  não são inseridas. Com isso, adjacências de nós de  $s_i$  podem ser alteradas. Ou seja, este método prioriza a informação fornecida pelo menor caminho em detrimento da similaridade dos pais, podendo esta ser perdida, em maior ou menor grau.

A cada etapa de reconexão é testado se pode ocorrer violação no filho sendo gerado. Se  $p$  não for constituído por apenas uma aresta com os mesmos nós, a violação não pode ocorrer, logo, é aplicada a reconexão original na iteração corrente. Caso contrário, primeiramente  $s_i$  é “quebrada” em um conjunto  $q$  de subárvores, de modo que cada subárvore  $q_i$  tenha como raiz um nó que é comum a  $s_i$  e  $f$ . A Figura 5a ilustra uma situação em que indivíduo inválido poderia ser gerado, ao passo que a Figura 5b exemplifica como essa “quebra” é realizada. A etapa final insere as arestas de cada  $q_i$  em  $f$ , como ilustrado na Figura 5c.

### 5.2 Método 3

No método 3, prioriza-se a informação de similaridade dos pais ao reconectar as  $n$  subárvores. Aqui não é utilizada a idéia de cálculo de menor caminho entre duas subárvores para reconectá-las.

O método 3 recebe o conjunto  $s$  como entrada, identifica a subárvore que contém o nó fonte e começa a preenchê-la com o mesmo algoritmo de busca aleatório utilizado na geração da população inicial, até que apareça um nó que exista em alguma  $s_i$  não reconectada. Nesse momento,  $s_i$  é rotacionada e inserida em  $f$ . Desta forma, não há repetição de nós em  $f$ , uma vez que no decorrer da geração de  $f$  sempre que um nó existente em alguma  $s_i$  é sorteado, a respectiva  $s_i$  rotacionada é inserida em  $f$ . Um exemplo pode ser visto na Figura 5d (nós adicionados em cinza).

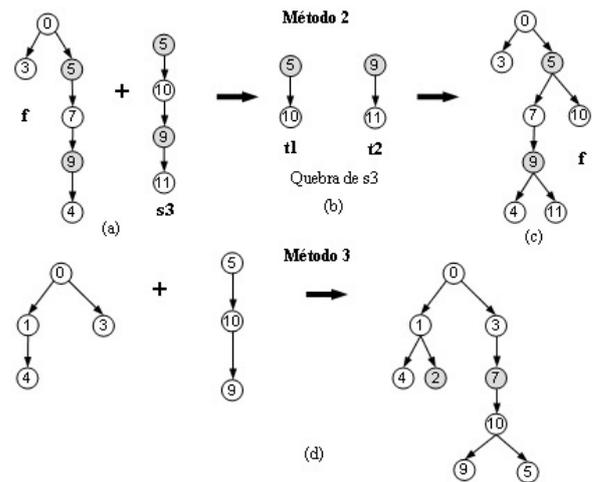


Figura 5: Reconexão utilizando os novos métodos.

## 6 Experimentos

Para comparar os métodos de reconexão discutidos, valores de  $d_{max}$  e  $c_{min}$  para as redes 0, 1 e 2 foram obtidos (Oliveira and Vita, 2009), sendo as melhores soluções utilizadas para medir a convergência do AG resultante.

Para as redes 0 e 1, foram usados  $TP = 30, NG = 50$ ; para a Rede 2,  $TP = 60, NG = 100$ . O valor de restrição de  $delay$  máximo para as redes 0, 1 e 2 foi 25ms, 9ms e 38ms, respectivamente. Por experimento, foram realizadas 100 execuções.

Na Figura 6, cada grupo compara os três métodos de reconexão para cada rede. Nos três últimos grupos foi utilizado um mecanismo denominado filtro, proposto em (Oliveira and Araújo, 2004), que aplica uma mutação forçada em um indivíduo gerado que é igual a algum já existente na população de pais e filhos atual. Nos três primeiros grupos não foi utilizado o filtro.

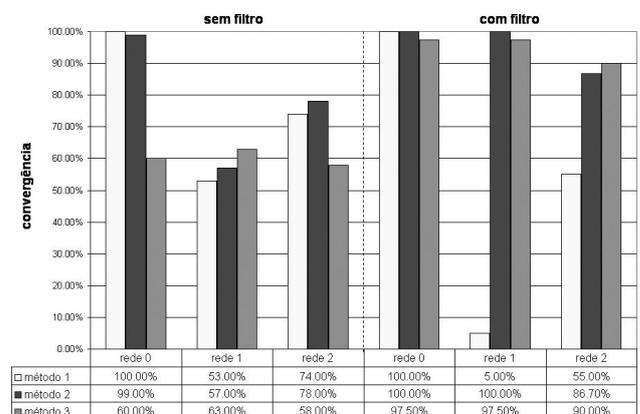


Figura 6: Percentuais de convergência utilizando os métodos de reconexão original, 2 e 3.

Observando a Rede 0, o método original de reconexão possui uma boa convergência para o ótimo, mostrando que, nesse caso, a ocorrência de indivíduos inválidos não afeta negativamente o desempenho do AG. No caso das redes 1 e 2, torna-se mais perceptível que a ocorrência de indivíduos

inválidos prejudica a convergência do AG. Esse aspecto é mais reforçado ainda na presença do filtro, uma vez que ele proporciona maior diversidade populacional e, conseqüentemente, maiores chances de ocorrência de violações nas reconexões. De forma geral, os métodos propostos apresentaram melhor desempenho que o método original. A Tabela 1 ilustra os percentuais médios obtidos para os métodos de reconexão avaliados neste trabalho, com e sem o uso do filtro, além dos tempos médios de execução.

Tabela 1: Percentuais médios de convergência e duração média de execução nas 3 redes.

Método de Reconexão	Sem filtro	Tempo médio	Com filtro	Tempo médio	Média geral
1	75,67%	0,61s	53,33%	3,99s	64,50%
2	78,00%	0,38s	95,57%	3,80s	86,78%
3	60,33%	0,26s	95,00%	0,88s	77,67%

Ao comparar os resultados obtidos neste trabalho com (Ravikumar and Bajpai, 1998), (Zhengying et al., 2001), (Oliveira and Araújo, 2004) e (Oliveira and Vita, 2009), constatou-se que para a Rede 0 os resultados são compatíveis. Por outro lado, em uma instância mais difícil como a Rede 1, os valores obtidos com os novos métodos de reconexão foram melhores: sem o mecanismo de filtro, obteve-se 57% de convergência com o método 2, ao passo que as taxas anteriores de tais trabalhos situavam-se no máximo em 25%. Utilizando o filtro, obteve-se 100% de convergência com o mesmo método, ao passo que eles obtiveram em torno de 70%. Para a Rede 2, não há dados anteriores para comparações. Observando-se os tempos médios de execução, embora o método 3 tenha uma convergência inferior sem o uso do filtro, seu desempenho é comparável ao do método 2 quando o filtro é usado, mas com um tempo de execução bem mais baixo.

## 7 Conclusões e trabalhos futuros

Neste trabalho, foi discutido um modelo baseado em AGs para o roteamento multicast com QoS. Dois novos métodos para reconectar subárvores durante a recombinação e a mutação foram propostos e avaliados, motivados pela presença de uma falha detectada e quantificada. Resultados experimentais indicaram que os novos métodos superaram o original, o que é importante para a viabilidade prática no roteamento. Além disso, não permitem indivíduos inválidos, garantindo a consistência do modelo proposto.

Entretanto, observou-se que a presença de indivíduos inválidos não prejudica muito a convergência do AG em algumas topologias. Essa robustez do AG explica o porquê dos trabalhos anteriores não terem identificado a falha na reconexão.

Como trabalhos futuros, será investigado o impacto sobre a convergência do AG a redução da população e do número de gerações nos novos métodos, visto que não geram indivíduos inválidos. Também está em desenvolvimento uma nova estratégia de reconexão que é uma combinação das heurísticas apresentadas.

## Agradecimentos

Os autores agradecem aos revisores pelos comentários. MLPB é grato à CAPES pela bolsa. GMBO agradece ao CNPq e à Fapemig pelo suporte financeiro.

## Referências

- Cormen, T. H., Leiserson, C. E., Rivest, R. L. and Stein, C. (2001). *Introduction to Algorithms*, 2nd edn, The MIT Press.
- Cui, X., Lin, C. and Wei, Y. (2003). A multiobjective model for qos multicast routing based on genetic algorithm, *ICCNMC '03: Proceedings of the 2003 International Conference on Computer Networks and Mobile Computing*, IEEE Computer Society, Washington, DC, USA, p. 49.
- Fabregat, R., Donoso, Y., Baran, B., Solano, F. and Marzo, J. L. (2005). Multi-objective optimization scheme for multicast flows: a survey, a model and a MOEA solution, *LANC '05: Proceedings of the 3rd international IFIP/ACM Latin American conference on Networking*, ACM, New York, NY, USA, pp. 73–86.
- Goldberg, D. E. (1989). *Genetic Algorithms in Search, Optimization & Machine Learning*, 1st edn, Addison-Wesley, Massachusetts.
- Karp, R. M. (1972). Reducibility among combinatorial problems, in R. E. Miller and J. W. Thatcher (eds), *Complexity of Computer Computations*, pp. 85–103.
- Oliveira, G. M. B. and Araújo, P. T. (2004). Determining multicast routes with qos and traffic engineering requirements based on genetic algorithm, *Proc. of the 2004 IEEE Conference on Cybernetics and Intelligent Systems*, Vol. 1, Singapore, pp. 665 – 669.
- Oliveira, G. M. B. and Vita, S. S. B. V. (2009). A Multi-Objective Evolutionary Algorithm with  $\epsilon$ -dominance to Calculate Multicast Routes with QoS Requirements, *2009 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC'2009)*, Norway, pp. 1–9.
- Ravikumar, C. P. and Bajpai, R. (1998). Source-based delay-bounded multicasting in multimedia networks, *Computer Communications* **21**(2): 126–132.
- Roy, A. and Das, S. K. (2004). Qm2rp: a qos-based mobile multicast routing protocol using multi-objective genetic algorithm, *Wirel. Netw.* **10**(3): 271–286.
- Tanenbaum, A. S. (2002). *Computer Networks*, 4th edn, Prentice Hall.
- Zhengying, W., Bingxin, S. and Erdun, Z. (2001). Bandwidth-delay-constrained least-cost multicast routing based on heuristic ga, *Computer Communications* **24**(7-8): 685–692.