

IMPLEMENTAÇÃO DE UM ALGORITMO GENÉTICO PARA OTIMIZAÇÃO DO TRÁFEGO EM REDES DE COMPUTADORES

Grasiele Regina Duarte¹, Michelli Marlane da Silva^{1,2}

¹ Departamento de Ciência da Computação – Universidade Presidente Antônio Carlos
Campus I – Rodovia MG 338, Km 12 – Barbacena – MG – Brasil

²Orientadora

grasi_rd@hotmail.com, michelli_marlane@hotmail.com

Abstract. *The increasingly use of computer networks brings challenges to this technology, being one of them the treatment regarding the traffic. This paper presents algorithm to be applied to the routing and forwarding of information in computer networks seeking to minimize its congestion.*

By distributing the demand to be met by the network, the algorithm prevents the information from being directed to already congested links, while other links that would also be a good alternative may remain with idle capacity, and that the information waits to be attended.

In the attempt to provide some quality of service, as the best route to meet the demand is defined, it is guaranteed the reservation of throughput to dispatch of the maximum flow supported by the selected path.

This paper compares results on the network congestion, provided by two distinct methods applied to the search of the best way to meet a demand. One of them is Dijkstra's Algorithm, treated in the Graph Theory and the other, a heuristic based on the Artificial Intelligence technique called Genetic Algorithm. In both, it is expected that it is defined as the best, the candidate path that offers lower cost. Such a comparison is performed for analysis of the Genetic Algorithm, point of attention in this work, toward the other alternative.

Resumo. *O uso cada vez mais intenso de redes de computadores traz desafios a esta tecnologia, sendo um deles o tratamento a ser dado ao tráfego. O presente trabalho apresenta algoritmo a ser aplicado no roteamento e encaminhamento de informações em redes de computadores, buscando minimizar o congestionamento destas.*

Ao distribuir a demanda a ser atendida pela rede, o algoritmo evita que informações sejam direcionadas a enlaces já congestionados, enquanto outros, que também seriam uma boa alternativa, possam permanecer com capacidade ociosa, sendo que a informação aguarda para ser atendida.

Na tentativa de oferecer alguma qualidade de serviço, ao ser definida a melhor rota para atender uma demanda, será garantida reserva de taxa de transferência para envio do fluxo máximo suportado pelo caminho selecionado.

Este trabalho compara resultados sobre o congestionamento da rede, proporcionados por dois métodos distintos, aplicados na busca pelo melhor caminho para atender uma demanda. Um dos métodos será o Algoritmo de Dijkstra,

tratado na Teoria dos Grafos e o outro, uma heurística baseada na técnica de Inteligência Artificial chamada Algoritmo Genético. Em ambos, espera-se que seja definido como melhor, o caminho candidato que ofereça menor custo. Tal comparação é realizada para análise de efeito do Algoritmo Genético, ponto de atenção deste trabalho, frente a outra alternativa.

1. Introdução

O número de informações que trafegam em redes de computadores, bem como a complexidade, tem aumentado constantemente. Observando a maior rede de todas, a Internet, fica fácil perceber estas mudanças. A tendência é a continuação destes aumentos, fazendo com que técnicas existentes para atender às necessidades das redes se tornem incapazes de oferecer um serviço de qualidade.

Muitas aplicações de rede demandam capacidade de tráfego, pois consomem excessivamente largura de banda, recurso considerado escasso, que deve ser compartilhado. Em alguns casos, a qualidade que se espera pode ser alcançada viabilizando a otimização de recursos já existentes, sem a necessidade de reestruturação da rede. O presente trabalho se propõe a minimizar o congestionamento da rede, realizando de forma otimizada, a distribuição da demanda pelos enlaces.

O algoritmo apresentado atuará sobre a rede de forma dinâmica. Assim, informações envolvidas no roteamento refletem dinamicamente as modificações na topologia da rede. Este tipo de algoritmo é aplicado em redes em que existem várias rotas para um mesmo destino [ALBUQUERQUE 2001]. O algoritmo definirá a melhor rota baseando-se no estado dos enlaces candidatos. Para trabalhar desta forma, é necessário que todos os roteadores conheçam toda a estrutura da rede [TORRES 2010].

Propõe-se ainda com o algoritmo, a garantia de que ao ser definido um caminho, seja mantida até a conclusão do atendimento da demanda, a taxa de transferência determinada como a melhor que o caminho pode oferecer para envio do fluxo máximo suportado, objetivando Qualidade de Serviço.

Modelagens matemáticas que tratam de fluxos, já existentes na literatura de teoria dos grafos como pode ser encontrado em [BOAVENTURA NETTO 1996], ao tratar do problema do fluxo de menor custo, possibilitarão análise de resultados obtidos sobre o congestionamento da rede com aplicação do algoritmo proposto.

Uma das principais motivações para a execução deste trabalho, é o fato de o principal motivo do uso de redes de computadores, ser o envio e recebimento de dados, desconsiderando aqui, dados que trafegam com finalidade de manter o controle da rede.

A otimização do tráfego em especial, na área Redes de Computadores, foi escolhida por este componente poder causar efeitos relevantes no desempenho da rede como um todo, sendo assim, torna-se o tráfego, um importante componente que contribui para evolução desta tecnologia.

Sendo a distribuição do tráfego em redes de computadores, considerado um problema de Programação Linear, verifica-se a necessidade de tentativa de otimizar resultados. A implementação de uma heurística aplicando-se a técnica Algoritmo Genético que minimize o congestionamento da rede, comparada com a aplicação do Algoritmo de Dijkstra, sendo este um método exato e muito lembrado neste tipo de problema, poderá contribuir de forma positiva com o avanço das pesquisas realizadas neste sentido.

O principal objetivo deste trabalho é a implementação de um Algoritmo Genético que

otimize o congestionamento da rede através da tarefa de roteamento do tráfego. Espera-se que o congestionamento seja minimizado com a mínima influência no atendimento da demanda imposta à rede. Para atingir o objetivo principal, alguns outros, que complementam a solução, deverão ser alcançados, destacando-se:

- Definir quais informações serão adotadas para identificar o estado de cada enlace da rede;
- Determinar fluxo máximo suportado pelos caminhos para atendimento das demandas;
- Garantir que seja mantida taxa de transferência durante atendimento das demandas;
- Comparar numericamente influência da aplicação de dois métodos distintos aplicados na busca por melhores caminhos para atendimento das demandas.

Este trabalho está organizado da seguinte forma: A Seção 2 apresenta aspectos de alguns trabalhos relacionados. Na Seção 3 demonstra-se como foi possível modelar a rede para experimentos, seguida pela Seção 4, que descreve a definição da demanda. Na Seção 5, destacam-se alguns aspectos importantes para lidar com fluxo. Apresenta-se na Seção 6, algoritmo presente em ponto chave da solução proposta. Na Seção 7, descreve-se conceito a ser aplicado aos enlaces da rede, seguida pela Seção 8, que descreve o comportamento de cada roteador da rede. Na Seção 9 apresenta-se o Algoritmo Genético implementado, ponto de atenção para se atingir o principal objetivo do trabalho, seguido da Seção 10 que descreve recurso implementado para uso do Algoritmo Genético. Alguns testes de utilização do algoritmo são apresentados na Seção 11. Por fim, Na Seção 12 apresenta-se conclusões deste trabalho, seguida da Seção 13, onde aponta-se atividades a serem desenvolvidas no futuro.

2. Revisão Bibliográfica

Pesquisadores da área de telecomunicações têm voltado suas atenções no desenvolvimento de novas tecnologias, com intuito de prover melhorias a diversos componentes das redes de computadores. Alguns desses pesquisadores, se propõem a desenvolver melhorias no que se refere ao roteamento do tráfego das redes, dando atenção aos algoritmos responsáveis por esta tarefa.

Trabalhos realizados por pesquisadores atuantes na área do tráfego de redes, estão relacionados à Engenharia de Tráfego, que tem como propósito operar a rede com eficiência e confiabilidade, utilizando ou mesmo alocando, de forma otimizada, os recursos existentes e garantindo padrões de performance de tráfego [ENNE 2009]. Este campo busca garantir que recursos suficientes estejam disponíveis em uma rede para atender as demandas impostas sobre ela [PETERSON 2004]. Os objetivos da Engenharia de Tráfego são alcançados mediante a correta distribuição de tráfego pela rede, considerando o grau de utilização de seus links [ENNE 2009].

Ao dar atenção ao desenvolvimento de novas propostas que visam melhorias ao tráfego de redes, alguns pesquisadores, como é o caso de Maia [MAIA 2006], que propôs um sistema de Engenharia de Tráfego capaz de sustentar tráfego misto (dados, voz e vídeo) com diversos níveis de Qualidade de Serviço (QoS - Quality of Services) na rede, vêm como solução a aplicação de princípios da computação autônoma, técnicas de Inteligência Artificial e uso de tecnologias disponíveis, que possibilitam aplicação direta de suas propostas nas redes de computadores.

Muitas propostas de melhoria no roteamento do tráfego, se baseiam no funcionamento de protocolos já existentes, como fez Buriol [BURIOL 2003], baseando seus estudos no protocolo Open Shortest Path First (OSPF), que roteia o tráfego usando trajetórias de custos mínimos. Buriol [BURIOL 2003] propôs um algoritmo que define o melhor caminho baseando a decisão em pesos atribuídos aos enlaces da rede.

Para realizar seu trabalho, Buriol [BURIOL 2003] considerou o problema WSP (Weight Setting Problem) utilizado pelo protocolo OSPF, que consiste na atribuição de pesos aos enlaces da rede. O objetivo de sua proposta foi encontrar uma solução para tal problema, para então buscar pelo caminho de menor peso entre os candidatos. Para atribuir pesos aos arcos, Buriol [BURIOL 2003] propôs uma metaheurística, definindo que não seria necessário obedecer o padrões pré-estabelecidos como distâncias físicas, ou capacidades dos arcos e sim, objetivar a minimização dos resultados referentes ao congestionamento da rede.

A necessidade de capacidade de adaptação das redes, levou Maia [MAIA 2006] a aplicar técnicas de Inteligência Artificial. Essas técnicas proporcionam o desenvolvimento de sistemas que apresentem comportamentos baseados em determinados sistemas biológicos. Em [MAIA 2006] foram empregadas as técnicas Lógica Nebulosa para descoberta de enlaces mais adequados, Redes Neurais Artificiais para prever a vazão de tráfego e Algoritmos Genéticos para a otimização periódica para que fossem utilizados os melhores caminhos. A técnica Algoritmo Genético também foi adotada por Buriol [BURIOL 2003], para solucionar o problema de designação de peso aos arcos.

A efetiva aplicação de propostas desenvolvidas, é prevista pela maioria dos pesquisadores, com a utilização da tecnologia de roteamento e encaminhamento MPLS (Multiprotocol Label Switching), como fizeram Maia [MAIA 2006] e Dias [DIAS 2004].

Dias [DIAS 2004] propôs uma solução para maximizar a vazão numa rede de tamanho significativo, onde também deveriam ser atendidos parâmetros de QoS. Para atingir seus objetivos, Dias [DIAS 2004] configurou os caminhos de menores distâncias métricas, restringindo-se às larguras de banda disponíveis. Dias [DIAS 2004] poderia, fazendo uso da tecnologia MPLS, definir explicitamente de forma dinâmica, os caminhos a serem percorridos pelos dados, bem como as larguras de banda necessárias para o atendimento do fluxo em questão.

MPLS é muito usado hoje para admitir certos tipos de serviços de rede privada virtual. O MPLS conta com endereços e protocolos de roteamento IP. Por outro lado, roteadores habilitados para MPLS encaminham pacotes examinando rótulos relativamente curtos [PETERSON 2004]. Este protocolo estabelece conexões virtuais através dos enlaces e roteadores da rede. Esses caminhos a serem percorridos pelos pacotes, são chamados de LSP's (Label Switching Paths) [MAIA 2006]. O uso deste protocolo possibilita o encaminhamento através de LSP's previamente definidos [DIAS 2004].

Resultados alcançados por Maia [MAIA 2006] chegam na faixa de 45% a 55% de melhoria no que diz respeito ao melhor aproveitamento do tráfego das redes e perto de 0, a média de perda de pacotes. Os resultados mostraram que o sistema foi capaz de implementar novas rotas, levando em conta as necessidades de QoS das aplicações e os recursos disponíveis na rede.

Existem várias propostas feitas para tentar solucionar o problema do risco, cada vez maior, de congestionamentos no tráfego de redes de computadores. Muitas dessas propostas, são heurísticas apresentadas pelo meio acadêmico. Com o uso cada vez mais intenso deste

componente, nem sempre os resultados são satisfatórios, tornando necessária a continuidade de estudos na busca por melhorias.

3. A rede como um grafo

Neste trabalho, a rede será modelada aplicando-se a teoria da estrutura de grafos. Pode-se dizer que roteamento é basicamente um problema de teoria de grafos [PETERSON 2004]. Cada roteador será representado por um vértice e cada arco representará a ligação entre os roteadores.

O grafo terá seus arcos ponderados de acordo com o custo oferecido pelos enlaces da rede. O custo oferece alguma indicação do desejo de enviar tráfego pelos enlaces [PETERSON 2004]. Sendo a métrica um custo para se atingir um destino através de uma rota [ALBUQUERQUE 2001], a ponderação dos arcos será baseada nas taxas de transferência oferecidas pelos enlaces da rede, quanto maior a taxa, menor será o peso atribuído ao arco. A ponderação dos arcos sofrerá alterações, sendo estas baseadas no volume de carga destinado aos respectivos enlaces da rede, durante o funcionamento desta.

Será adotado especificamente um grafo fortemente conectado, assim, será um grafo orientado, onde para todo par de vértices estará associado um par de caminhos de sentidos opostos [BOAVENTURA NETTO 1996].

Considerando que os enlaces da rede física trabalharão em modo Full-Duplex, ou seja, o enlace será utilizado para comunicação bidirecional, enviando e recebendo dados ao mesmo tempo [TORRES 2010], faz-se necessária a obrigatoriedade da criação de um arco paralelo para todo arco definido no grafo, porém de sentido contrário do primeiro.

Para representar o grafo da rede, foi definido o uso de matriz de incidência. Cada vértice do grafo será uma linha na matriz e cada arco uma coluna. A montagem do grafo será dada mediante preenchimento da matriz com informação da taxa de transferência em kbps de cada enlace representado por um determinado arco. Cada coluna da matriz deverá conter dois valores simétricos, sendo o valor positivo, o vértice de origem e o valor negativo, o vértice de destino do arco. Abaixo, segue figura que exemplifica grafo a ser considerado, ao lado de tabela representando matriz a ser adotada.

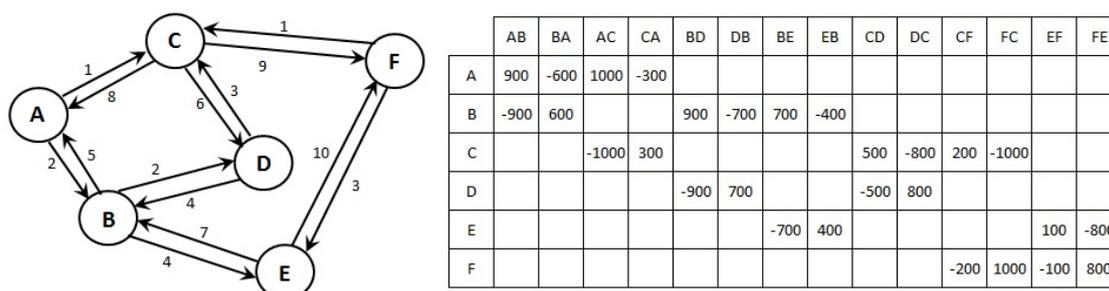


Figura 1. Grafo e Matriz da Rede

4. Demanda a ser atendida

Sobre a representação de demanda a ser atendida pela rede para a realização de testes, esta será representada por uma estrutura de tabela que deverá ser preenchida com valores para os campos origem, destino e quantidade de dados a serem transferidos. Com esta

estrutura, possibilita-se a definição arbitrária de várias combinações dessas informações. Cada linha da tabela representará uma transferência a ser realizada pela rede.

5. Aspectos importantes ao tratar de fluxo

Sendo fluxo a transferência dentro de uma estrutura, de algum recurso quantificável e sujeito a restrições de equilíbrio, fluxo em rede é um grafo orientado em que cada arco tem uma capacidade não negativa. Deve-se distinguir dois vértices em um grafo de fluxo, sendo eles a origem e o destino [CORMEN 2002].

Uma das preocupações que se deve ter ao se tratar de fluxo, é que a capacidade do canal não poderá ser ultrapassada ao inserir uma nova carga [BOAVENTURA NETTO 1996, CORMEN 2002]. Este cuidado é tido como restrição em diversos problemas envolvendo fluxo. Na presente proposta, a capacidade de cada canal, sendo eles os enlaces da rede, será o número de pacotes que poderão ser transmitidos por segundo. Tal capacidade será determinada aplicando-se a fórmula $((TF \times 1000)/8)/TP$, onde TF é a taxa de transferência do enlace, multiplicada por 1000 devido a taxa usar a unidade kbps. A divisão por 8 corresponde à conversão da capacidade de bits para bytes por segundo, sendo bytes a unidade do tamanho do pacote a ser transmitido, representado por TP na fórmula.

Outra restrição quando se trabalha com fluxo, citada por [CORMEN 2002] como Antisimetria oblíqua, diz que o fluxo de um vértice origem até um vértice destino tem valor negativo no sentido inverso. Neste trabalho, esta restrição foi tratada com envio ou recebimento de fluxo por um roteador; sendo a origem, o fluxo será acrescido, sendo o receptor, o fluxo será decrementado.

A terceira restrição quando se trabalha com fluxo, diz respeito à conservação, a quantidade de fluxo que sai de um vértice que não seja a origem ou o destino, deve ser a mesma que chegou a ele [BOAVENTURA NETTO 1996, CORMEN 2002]. No algoritmo proposto, ao receber um fluxo, não sendo o roteador a origem ou o destino, este deverá encaminhá-lo ao próximo roteador que compõe o caminho.

O fluxo máximo consiste na maior taxa que um recurso pode ser enviado por um caminho, desde a origem até o destino, sem violar quaisquer restrições de capacidade dos canais envolvidos [CORMEN 2002]. No algoritmo, considera-se o fluxo máximo suportado por um caminho, a menor capacidade suportada entre todos os enlaces que o compõem.

Quando se pensa em custo para envio de fluxo, não é necessário relacionar esta informação com a quantidade que será enviada. Assim, a preocupação deve ser de minimizar o custo para envio de um fluxo através do grafo [BOAVENTURA NETTO 1996]. No algoritmo proposto, como descrito na seção 3, o peso dos arcos são atribuídos de acordo com a taxa de transferência dos enlaces da rede. Sendo assim, o fluxo de custo mínimo será obtido quando encaminhado pelo caminho entre a origem e destino, composto pelos enlaces de maior taxa de transferência possível.

Problemas que envolvem fluxo, obviamente não são imutáveis no tempo. O fluxo está sujeito a diversas influências, o próprio uso da rede, se altera a todo momento [BOAVENTURA NETTO 1996]. Para o problema em questão, a representação do dinamismo do fluxo, será adotando-se o conceito de Grafos Evolutivos, que corresponde a uma sequência de t sub-grafos de um dado grafo, sendo t considerado o limite de um intervalo de tempo de 0 a t . Um sub-grafo corresponde à rede num determinado instante posterior [MONTEIRO 2007], apresentando uma visão de seu estado. O que se pretende com esta técnica é simular situações variantes de uma rede. Esta metodologia permitirá

a análise do estado dos componentes da rede envolvidos na solução, até para verificar o efetivo funcionamento da proposta.

6. Algoritmo de Dijkstra

Trata-se de um algoritmo clássico da teoria de grafos, sendo aplicado na busca por caminhos de custo mínimo a partir de um vértice dado, fazendo uso da técnica de relaxamento. O uso deste algoritmo fica restrito a grafos ponderados com valores positivos. Após sua execução, o algoritmo fornece os custos dos caminhos selecionados como melhores de um vértice origem a todos os outros vértices. O algoritmo de Dijkstra sempre obtém o caminho mais curto entre todos os candidatos [BOAVENTURA NETTO 1996, CORMEN 2002, NICOLETTI 2006, ZIVIANE 2007].

Este algoritmo é aplicado na proposta de roteamento apresentada, na busca pelo caminho que ofereça o menor custo para atendimento de uma determinada demanda. O uso deste algoritmo é um dos pontos chave no presente trabalho. O congestionamento da rede, ao atender demandas fazendo uso dos caminhos selecionados pelo mesmo, será comparado com congestionamento causado pela aplicação do Algoritmo Genético proposto, a ser apresentado em seções posteriores. Tendo em vista a importância deste algoritmo neste trabalho, abaixo segue o algoritmo, conforme proposto por [CORMEN 2002].

Entrada: G, w, s

início

 Inicializar-Distancias-Antecessores(G, s);

$S \leftarrow \emptyset$;

$Q \leftarrow V[G]$;

enquanto ($Q \neq \emptyset$) **faça**

$u \leftarrow$ Extrair-Mínimo(Q);

$S \leftarrow S \cup \{u\}$;

para (Cada vértice $v \in Adj[u]$) **faça**

 Relaxar(u, v, w);

fim

fim

fim

Algoritmo 1: Algoritmo de Dijkstra

7. Rede Residual

Ao trabalhar com fluxo em rede, deve-se ter em mente o conceito de rede residual, que consiste em canais que ainda podem receber fluxo. Este conceito pode ser traduzido como a quantidade de fluxo adicional que ainda pode ser inserido no caminho sem que a capacidade total seja excedida [CORMEN 2002].

Nestas condições, os arcos do grafo receberão novos pesos correspondentes às respectivas folgas $r_a = c_a - f_a$, onde r_a corresponde à capacidade ainda disponível no enlace, c_a a capacidade total e f_a o fluxo passando pelo enlace [BOAVENTURA NETTO 1996, CORMEN 2002].

Como já esclarecido na seção 5, as capacidades dos enlaces são determinadas de acordo com as taxas de transferência. Da mesma forma, para se determinar a taxa ainda disponível, pode-se aplicar uma proporção de acordo com a capacidade residual do enlace. A taxa de transferência oferecida por um enlace num determinado instante, terá a mesma

proporção sobre a taxa total, que a capacidade residual tem sobre a capacidade total. Esta taxa deverá ser determinada toda vez que for necessário a busca pelo melhor caminho para atender uma demanda.

A rede manterá taxa de transferência reservada do início ao fim do atendimento de demandas. Cada roteador terá conhecimento das reservas estabelecidas para cada enlace. Dentre outras informações da reserva, uma delas é o fluxo máximo que poderá ser enviado, assim, para determinar a capacidade residual, basta subtrair da capacidade total, todas as reservas atribuídas ao enlace.

8. Descrição do funcionamento básico do roteador

Tendo como foco da presente proposta, o funcionamento da rede a partir da atividade de roteamento, o trabalho a ser executado pelos roteadores pode ser descrito com o algoritmo que segue.

Deve-se atentar para a realização da busca pelo melhor caminho. Como já mencionado, este trabalho fará uso de dois métodos distintos para esta tarefa, sendo o Algoritmo de Dijkstra e o Algoritmo Genético proposto, para efeito de comparação de resultados proporcionados pelos dois métodos, sobre o congestionamento da rede.

```

início
  se (Recebeu pacote de outro roteador) então
    se (É destino do pacote) então
      se (É último pacote da demanda) então
        Desalocar reserva de enlaces;
      fim
    senão
      Enviar pacote para próximo roteador do caminho;
    fim
  fim
  se (Quantidade pacotes origem > 0) então
    enquanto (Tamanho fila demanda a verificar > 0) faça
      se (Caminho reservado para atender) então
        Enviar pacote para próximo roteador do caminho;
      senão
        Buscar pelo melhor caminho;
        se (Capacidade do caminho selecionado > 0) então
          Reservar enlaces necessários pelo caminho definido;
          Enviar pacote para próximo roteador do caminho;
        fim
      fim
    fim
  fim
fim

```

Algoritmo 2: Funcionamento Básico do Roteador

9. Algoritmo Genético

Como já mencionado, uma das alternativas a serem aplicadas com o objetivo de determinação de melhor caminho para atendimento de demandas, será uma heurística ba-

seada na técnica de Inteligência Artificial chamada Algoritmo Genético. A aplicação desta técnica também terá como objetivo a tentativa de otimização de resultados no que diz respeito ao congestionamento da rede, minimizando este, principal meta deste trabalho.

Tal algoritmo se enquadra no conceito de Computação Evolucionista, que caracteriza-se por basear algoritmos na teoria da evolução das espécies de Charles Darwin [SILVA 2011]. Em muitos casos, Algoritmos Genéticos produzem rapidamente soluções ótimas ou quase ótimas para problemas combinatoriais que, de outra forma, seriam impossíveis de se resolver [COPPIN 2010].

Algoritmos Genéticos, dependem da busca e escolha de determinada combinação de dados entre várias disponíveis, na tentativa de identificar uma solução ótima para um determinado problema [COPPIN 2010]. Os vários caminhos possíveis de serem percorridos por uma informação numa rede de computadores, pode ser visto como um conjunto de possibilidades dessas combinações.

Cromossomos, compostos por elementos denominados genes, representam soluções candidatas para solucionar o problema. Um conjunto destas estruturas, é considerado uma população [COPPIN 2010]. Novas gerações são estabelecidas a partir do cruzamento e mutação de cromossomos, tendo de haver uma condição de parada, que finaliza o processo e adota como resultado, o melhor cromossomo presente na atual população. Deve haver substituição de cromossomos menos aptos por outros mais aptos entre as gerações, mediante um método de seleção que permite determinar as melhores soluções candidatas. [COPPIN 2010, SILVA 2011].

No algoritmo implementado, a estrutura do cromossomo será composta por número variável de genes, que variará de acordo com o total possível de formação de pares origem/destino pelos roteadores da rede. Assim, sendo a rede um grafo fortemente conectado, o número de genes de cada cromossomo será determinado por $N_r \times (N_r - 1)$, onde N_r corresponde ao número de roteadores. Já o número de indivíduos da população será de 50 cromossomos em qualquer geração. Cada gene, terá como informação a identificação de um possível caminho preparado para atender o par origem/destino representado por tal gene. A lista de todos os caminhos da rede, segue descrita na seção 10.

A aptidão de cada indivíduo para solucionar o problema, será determinada com a análise do congestionamento simulando uso de 80% da capacidade residual dos enlaces dos caminhos identificados pelos genes. Maiores resultados significam maiores aptidões.

Feita a análise da aptidão, torna-se possível selecionar os melhores cromossomos que serão mantidos para a próxima geração. No algoritmo proposto, serão mantidos o máximo de 25% da população. Havendo um número de cromossomos aptos que supere este total, haverá uma seleção entre estes, considerando como melhores, aqueles compostos por caminhos construídos pelos enlaces de maior capacidade residual.

Para cruzamentos, a seleção dos cromossomos pais será feita de forma totalmente aleatória entre os indivíduos da população. Cruzamentos serão realizados até que se complete a população da nova geração, somando-se novos indivíduos aos cromossomos já selecionados, mantendo sempre o total de 50 indivíduos. O tipo de cruzamento adotado na presente solução foi o de um ponto, determinando-se uma posição entre dois genes do cromossomo, em que os pais serão divididos e combinados entre si, dando origem a novos indivíduos [SILVA 2011]. No algoritmo proposto a divisão dos cromossomos deverá garantir que cada uma das partes mantenha pelo menos 25% do cromossomo original.

Cada indivíduo gerado, terá um gene aleatório alterado, aplicando-se assim, o processo de mutação [COPPIN 2010, SILVA 2011].

Neste trabalho, foi aplicado o esquema de reprodução geracional, que consiste na substituição de toda a população a cada geração. Adota-se também o processo de seleção elitista, mantendo-se os melhores indivíduos de uma geração para outra [SILVA 2011]. Será considerada a construção de 100 gerações na solução proposta.

Finalizado o processo de evolução das gerações, fica restando selecionar entre os cromossomos que compõem a última geração, aquele a ser adotado como solução final do problema. Caso existam mais de um cromossomo com a maior aptidão, será feita a busca pelo cromossomo que ofereça rotas compostas por enlaces de maior capacidade residual. Por se tratar de peça chave na solução proposta, responsável por otimizar o congestionamento da rede, objetivo principal deste trabalho, segue abaixo, algoritmo elaborado.

início

Gerar população inicial aleatoriamente;

enquanto *Quantidade gerações* < 100 **faça**

 Calcular peso cromossomos;

 Calcular aptidão cromossomos;

 Inicializar população temporária;

enquanto *Quantidade indivíduos população temporária* < 50 **faça**

 Selecionar cromossomos para cruzamento;

 Cruzar cromossomos selecionados;

 Mutar cromossomos gerados;

 Inserir cromossomos gerados população temporária;

fim

 Substituir população por população temporária;

fim

Determinar cromossomo melhor resultado;

fim

Algoritmo 3: Algoritmo Genético

10. Caminhos da rede

A solução proposta deverá elaborar uma lista de todos os caminhos possíveis para atender todos os pares origem/destino da rede, que deverá ser mantida pelos roteadores. Os caminhos desta lista deverão ser identificados por valores inteiros de 1 a n , sendo n , o total de caminhos montados para atender um determinado par origem/destino. Esta identificação será o conteúdo de cada gene da população no Algoritmo Genético.

Os caminhos que compõem a lista, serão montados aplicando-se algoritmo baseado na busca em profundidade, citada na literatura de grafos e algoritmos. Tal busca, sempre expande o caminho pelo nó mais profundo na borda atual, retornando ao nó mais raso que ainda tenha sucessores não visitados [CORMEN 2002, ZIVIANE 2007]. Para a solução apresentada, durante a execução da busca em profundidade, ao chegar no roteador destino do par origem/destino, o algoritmo não avança mais, ainda que possível e retorna para busca de novos caminhos para o mesmo par.

11. Testes e resultados

Para testar a proposta, foi desenvolvido programa implementado na linguagem C# da plataforma .NET, fazendo uso do IDE Microsoft Visual Studio 2008 versão 9.0.21022.8 RTM[®], usando o interpretador Microsoft .NET Framework versão 3.5 SP1[®]. Implementação e testes foram realizados em computador com processador Intel Pentium Dual-Core T3400 de 2,16 GHz, memória RAM DDR-2 de 3GB e sistema operacional de 32 bits Microsoft Windows 7 Ultimate[®].

Para totalização do congestionamento da rede, foi aplicada função objetivo, a ser minimizada, sujeita a restrições. A função utilizada neste trabalho tem como objetivo avaliar o congestionamento da rede. Segundo Buriol [BURIOL 2003], que também adotou tal função em seu trabalho, esta foi proposta por Bernard Fortz e Mikkel Thorup no livro Internet Traffic Engineering by Optimizing OSPF Weights de 2000. A função também pode ser encontrada na literatura de teoria dos grafos, como é o caso de [BOAVENTURA NETTO 1996], tendo sua aplicação descrita para avaliação de solução para o problema do fluxo de menor custo.

$$\begin{aligned} & \text{Minimizar: } \sum_{a \in A} v_a f_a \\ \text{Sujeito a: } & \sum_{i:(j,i) \in A} \ell_{(j,i)}^k - \sum_{i:(i,j) \in A} \ell_{(i,j)}^k = \begin{cases} -D_k & \text{Se } j = d(k) \\ D_k & \text{Se } j = o(k) \\ 0 & \text{Se Outro caso} \end{cases} \quad \forall j, k \\ & f_a = \sum_{k \in K} \ell_a^k \text{ e } 0 \leq f_a \leq c_a, \forall a \in A \\ & \ell_a^k \geq 0, \forall a \in A, \forall k \in K \end{aligned}$$

Onde o somatório a ser minimizado representa o custo total da rede, v_a relaciona o quão próximo da capacidade c_a está o fluxo f_a que passa por um arco a . O fluxo f_a corresponde ao somatório de toda a carga ℓ_a destinada ao arco a , que pode ser oriunda de qualquer combinação de vértices pertencente a K , que representa o conjunto de todos os pares origem-destino da rede. O fluxo total em cada arco deverá ser maior ou igual a 0 e menor ou igual à sua capacidade. O somatório que restringe a solução avalia o fluxo passando pelos arcos que compõem o caminho, o resultado será positivo se analisado a partir do vértice origem, ou seja, este contribui de forma crescente com o fluxo total do caminho, o contrário acontece quando se analisa a partir do vértice destino, pois este contribui decrementando o fluxo total do caminho. Analisando a partir de algum vértice, não sendo este a origem ou o destino, resultará em 0, a contribuição deste vértice com o fluxo total é nula. A carga ℓ_a que passa por um enlace deve ser maior ou igual a 0 [BOAVENTURA NETTO 1996, BURIOL 2003, CORMEN 2002].

O principal objetivo com a metodologia adotada para testes, foi de analisar o resultado da função objetivo da modelagem matemática apresentada, a partir da aplicação dos dois métodos para determinação dos melhores caminhos, tendo em vista melhores resultados com aplicação do Algoritmo Genético. Algoritmo de Dijkstra e Algoritmo Genético, foram aplicados sob as mesmas condições iniciais para possibilitar a comparação de resultados sobre o congestionamento, alcançados após aplicação destes.

Inicialmente, neste trabalho foi desconsiderado o tempo que o roteador pode levar para executar a busca pelo melhor caminho para atender uma demanda. Sendo esta a tarefa mais elaborada a ser executada pelo roteador, o tratamento dado neste sentido, foi de considerar que não será possível iniciar a transferência no mesmo segundo em que se realiza a busca pelo melhor caminho.

Neste trabalho, toma-se por base, resultados obtidos em testes aplicados sobre grafos de redes de 5, 6, 9 e 11 roteadores, ligados por 16, 16, 26 e 36 enlaces respectivamente, para atendimento de demanda aleatória imposta a cada um deles.

Abaixo, na figura 2, apresentam-se gráficos que demonstram resultados obtidos na rede de 5 roteadores e 16 enlaces. Pode-se observar que em três execuções do algoritmo, como era de se esperar, resultados obtidos com o Algoritmo de Dijkstra, se mantêm constantes. Já com o Algoritmo Genético, além de haver variação de resultados entre as execuções, comparando-se com o resultado do Algoritmo de Dijkstra a cada execução, houveram momentos em que ocorreram aumentos do congestionamento e não diminuição como o esperado. Mesmo sendo este, o pior resultado obtido em testes documentados entre os grafos analisados, não se pode ignorar que na maior parte das vezes, cerca de 80%, o congestionamento foi minimizado até 27% mediante aplicação do Algoritmo Genético.

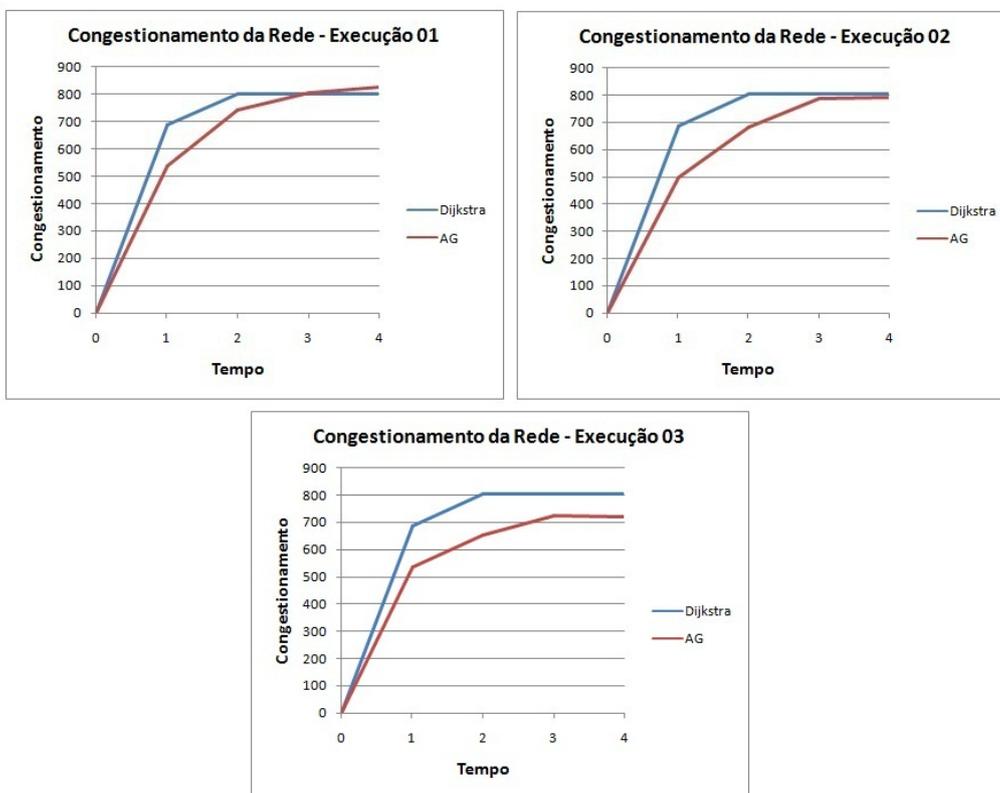


Figura 2. Congestionamento Rede 5 roteadores e 16 enlaces

Outro teste que merece destaque, é o teste realizado no grafo da rede de 9 roteadores e 26 enlaces. Este foi o teste documentado em que se pôde obter os melhores resultados de minimização do congestionamento aplicando-se o Algoritmo Genético frente ao Algoritmo de Dijkstra. Destaca-se também, que resultados deste teste, se mantiveram com pequena variação, comparando-se com outros grafos. Abaixo, na figura 3, são apresentados gráficos que demonstram a diferença de desempenho entre os dois algoritmos. Resultados obtidos neste grafo, vão de 17% a 56% de diminuição no congestionamento, entre as duas execuções.

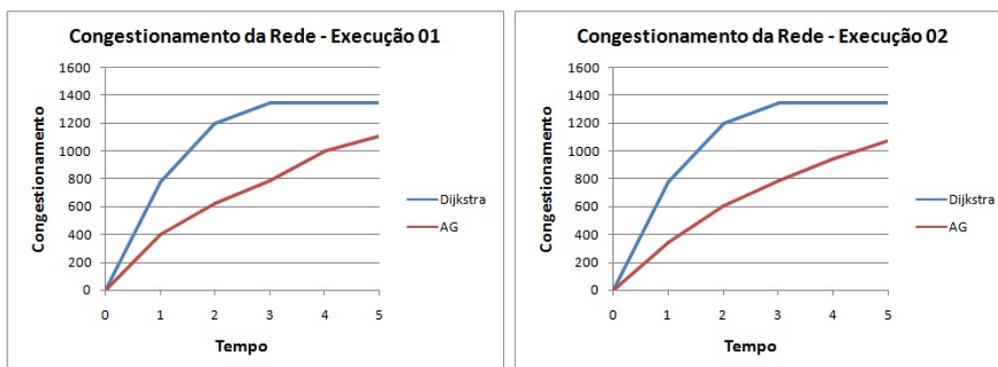


Figura 3. Congestionamento Rede 9 roteadores e 26 enlaces

Quanto ao atendimento da demanda, houve uma pequena queda, considerada mínima, no atendimento da demanda total de cada roteador, em momentos em que o congestionamento da rede foi minimizado com aplicação do Algoritmo Genético. Abaixo, na tabela 1, exemplifica-se a ocorrência desta queda. A tabela lista informações do grafo da rede de 9 roteadores e 26 enlaces. Nesta rede foram identificadas as maiores quedas nos casos em que haviam demanda a ser atendida por todos os roteadores.

Tabela 1. Atendimento Demanda Rede 9 roteadores e 26 enlaces - Execução 01

Tempo	Roteador	Fila Demanda		Diferença (%)
		Dijkstra	AG	
0	A	621260309,15	621260309,15	0,00000000%
1	A	621260120,98	621260196,45	-0,0000121%
2	A	621259933,48	621260083,95	-0,0000242%
3	A	621259745,98	621259971,45	-0,0000363%
4	A	621259558,48	621259858,75	-0,0000483%
5	A	621259370,98	621259746,06	-0,0000604%
0	B	682623,55	682623,55	0,00000000%
1	B	682611,05	682623,55	-0,0018312%
2	B	682598,55	682623,55	-0,0036625%
3	B	682586,05	682623,55	-0,0054938%
4	B	682573,55	682623,55	-0,0073252%
5	B	682561,05	682623,55	-0,0091567%
0	C	1529008357,38	1529008357,38	0,00000000%
1	C	1529008232,38	1529008319,88	-0,0000057%
2	C	1529008107,38	1529008282,38	-0,0000114%
3	C	1529007982,38	1529008244,88	-0,0000172%
4	C	1529007857,38	1529008207,38	-0,0000229%
5	C	1529007732,38	1529008169,88	-0,0000286%
0	D	790274020,35	790274020,35	0,00000000%
1	D	790273894,96	790273932,85	-0,0000048%
2	D	790273807,46	790273832,89	-0,0000032%
3	D	790273719,96	790273732,94	-0,0000016%
4	D	790273632,46	790273632,98	-0,0000001%
5	D	790273544,96	790273544,96	0,00000000%
0	E	1007683,37	1007683,37	0,00000000%
1	E	1007633,33	1007620,04	0,0013189%
2	E	1007583,33	1007557,30	0,0025834%
3	E	1007533,33	1007494,80	0,0038242%
4	E	1007483,33	1007432,30	0,0050651%
5	E	1007433,33	1007369,80	0,0063061%
0	F	766652393,47	766652393,47	0,00000000%
1	F	766652255,97	766652330,97	-0,0000098%
2	F	766652118,47	766652268,47	-0,0000196%
3	F	766651980,97	766652205,97	-0,0000293%
4	F	766651843,47	766652143,47	-0,0000391%
5	F	766651705,97	766652080,97	-0,0000489%
0	G	124357431,30	124357431,30	0,00000000%
1	G	124357218,80	124357344,00	-0,0001007%
2	G	124357006,30	124357256,69	-0,0002013%
3	G	124356793,80	124357169,39	-0,0003020%
4	G	124356581,30	124356957,09	-0,0003022%
5	G	124356368,80	124356744,79	-0,0003023%
0	H	806355,40	806355,40	0,00000000%
1	H	806330,40	806354,94	-0,0030434%
2	H	806305,40	806354,94	-0,0061441%
3	H	806280,40	806354,94	-0,0092449%
4	H	806255,40	806354,94	-0,0123460%
5	H	806230,40	806354,94	-0,0154472%
0	I	1529008357,38	1529008357,38	0,00000000%
1	I	1529008257,38	1529008344,88	-0,0000057%
2	I	1529008157,38	1529008295,33	-0,0000090%
3	I	1529008057,38	1529008245,79	-0,0000123%
4	I	1529007957,38	1529008196,25	-0,0000156%
5	I	1529007857,38	1529008146,70	-0,0000189%

12. Conclusão

Aplicando-se Algoritmo de Dijkstra, foi constatado atendimento mais ágil se comparado com outra linha de algoritmos de roteamento, que fariam a escolha do caminho baseando

no número de saltos. Houve momentos durante a execução do sistema, em que enlaces da rede tiveram sua capacidade esgotada, porém este fato não impediu atendimento de demandas que poderiam considerá-los como opção de uso. Foram consideradas outras opções de enlaces menos ocupados e decidido por utilizar tais opções. Desta forma, conseguiu-se dar início ao atendimento da demanda com maior agilidade.

Aplicando-se a heurística baseada na técnica Algoritmo Genético, com a finalidade de minimizar os resultados do congestionamento da rede, obteve-se resultados positivos neste sentido.

Fazendo uso das duas metodologias para definição de rotas, em grafos de redes de diferentes dimensões, foi constatada diminuição do congestionamento da rede de 2% a 57%. Tal diminuição foi proporcionada com a distribuição realizada fazendo uso de caminhos determinados pelo Algoritmo Genético.

Não se pode ignorar o fato da ocorrência de aumento do congestionamento posta em prática comparação de resultados obtidos aplicando-se o Algoritmo de Dijkstra e Algoritmo Genético. O aumento ocorreu em raros momentos se comparado com o número de vezes que foi realizada a análise, totalizando em torno de 11% das tentativas. Tal aumento foi causado fazendo uso de rotas determinadas pelo Algoritmo Genético.

Outra observação foi uma pequena queda no atendimento da demanda total de cada roteador aplicando-se o Algoritmo Genético. Tal queda, considerada mínima, não surtiu efeitos prejudiciais notáveis ao atendimento da demanda imposta, além de ter sido considerada uma consequência esperada e natural da minimização obtida.

Quanto à minimização do congestionamento, esta trará benefícios para novas situações pelas quais a rede possa vir a passar, que necessitem de recursos relacionados ao tráfego. Um exemplo de novas situações, seria o atendimento de novos serviços pela rede, que necessitem de capacidade livre nos enlaces.

Outra observação a ser destacada, foi o fato de o resultado ser minimizado com maior intensidade, com aplicação do Algoritmo Genético, em redes de maior dimensão. Em testes aplicados, quanto maior foi o número de roteadores e enlaces, melhor foi o resultado obtido. Este fato é muito bem visto pelo presente trabalho, visto que uma das maiores preocupações quando se realiza este tipo de análise, é justamente o constante crescimento do uso de redes de computadores que tem ocorrido, fazendo com que as redes se expandam.

Deve-se destacar a importância das estruturas de dados a serem adotadas para este tipo de solução, pois esta escolha poderá influenciar de forma considerável na execução de atividades que realizam consultas frequentes.

13. Trabalhos futuros

Considera-se o presente trabalho o início de uma extensa pesquisa, sendo assim, identifica-se a necessidade de atividades ainda a serem realizadas para melhor análise de resultados já identificados, além de impor a solução proposta a novas situações. Algumas dessas atividades já identificadas são:

- Alterar a metodologia de teste, fazendo uso de software simulador de rede que permita a implantação de algoritmo de roteamento;
- Tratar da questão de todos os roteadores trabalhando simultaneamente, principalmente devido à questão de reserva de enlaces;
- Definir como será realizada a troca de mensagens entre roteadores, quais protocolos exatamente serão utilizados;

- Tratar a possível indisponibilidade de recursos físicos da rede, principalmente após ter dado início a uma transferência;
- Atender requisitos de qualidade impostos sobre a rede, dando ênfase inicialmente àqueles relacionados à segurança da informação;
- Reservar taxas impostas pelas demandas;
- Paralelizar o processamento do Algoritmo Genético, sendo esta a atividade identificada como a de maior custo computacional.

Referências

- ALBUQUERQUE, F. (2001). *TCP/IP - Internet: Protocolos Tecnologias*. Axcel Books do Brasil Editora Ltda, Rio de Janeiro, 3. ed. ampl. e atual. edition.
- BOAVENTURA NETTO, P. O. (1996). *Grafos: Teoria, Modelos, Algoritmos*. E. Blücher, São Paulo, 2. ed. rev. e ampl. edition.
- BURIOL, L. S. e. a. (2003). Otimizando o roteamento do tráfego na internet. *In: XXXV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*.
- COPPIN, B. (2010). *Inteligência artificial*. LTC - Livros Técnicos de Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro, tradução de: artificial intelligence illuminated, 1st ed. edition.
- CORMEN, T. H. e. a. (2002). *Algoritmos: Teoria e Prática*. Elsevier Editora Ltda, Rio de Janeiro, tradução de: introduction to algorithms edition.
- DIAS, R. A. e. a. (2004). Engenharia de tráfego dinâmica em redes ip sobre tecnologia mpls: Otimização baseada em heurísticas. *Anais do XXII Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*.
- ENNE, A. J. F. (2009). *TCP/IP sobre MPLS*. Editora Ciência Moderna Ltda, Rio de Janeiro.
- MAIA, N. A. (2006). Engenharia de tráfego em domínio mpls utilizando técnicas de inteligência computacional. *In: Anais do XXII Simpósio Brasileiro de Telecomunicações - SBrT'05, Campinas, 2005*.
- MONTEIRO, J. G. (2007). Uso de grafos evolutivos no roteamento em redes dinâmicas: algoritmos, fluxos e limites. *Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) - Universidade de São Paulo*.
- NICOLETTI, Maria do Carmo; HRUSCHKA JR., E. R. (2006). *Fundamentos da teoria dos grafos para computação*. Série Apontamentos. EdUFSCar, São Carlos, ed. rev. edition.
- PETERSON, Larry L.; DAVIE, B. S. (2004). *Redes de computadores: uma abordagem de sistemas*. Elsevier Editora Ltda, Rio de Janeiro, 3rd ed., tradução de: computer networks edition.
- SILVA, M. M. d. (2011). Otimização de estruturas reticuladas incluindo não-linearidade geométrica. *Dissertação (Mestrado em Modelagem Computacional) - Universidade Federal de Juiz de Fora*.
- TORRES, G. (2010). *Redes de computadores*. Novaterra Editora e Distribuidora Ltda, Rio de Janeiro, ed. rev. e atual. edition.
- ZIVIANE, N. (2007). *Projeto de algoritmos: com implementações em Java e C++*. Thomson Learning, São Paulo.