

Análise Topológica Sensível ao Contexto visando a Manutenibilidade da QoS

Lucas Galindo¹, Romildo Martins da Silva Bezerra¹,

¹ Grupo de Pesquisa em Sistemas Distribuídos, Otimização, Redes e Tempo Real (GSORT)
Instituto Federal da Bahia (IFBA)
{galindo@ifba.edu.br, romildo@ifba.edu.br}

Abstract. The issue addressed by the project is to offer a network infrastructure that is adapted to the current traffic profile for the service to be used with the expected quality. In particular, the cases will be considered in which the traffic profile is not supported by the infrastructure, or that it is overloaded. In this case, the choice of new links is very important to adapt the network to the traffic profile. However where the links will be inserted is the challenge addressed in this paper. The bandwidth and the paths average length were analyzed.

Keywords: Quality of Service, Network Management, Network Analysis.

1. Introdução

A Internet pode ser representada como enorme topologia composta de inúmeros computadores e dispositivos interconectados por enlaces de comunicação [4]. Estudos anteriores mostram que a topologia da Internet se expande com o passar do tempo, juntamente com a quantidade de seus usuários e serviços. Entretanto tal crescimento ocorreu de forma descentralizada e não planejada, sem nenhuma relação com os serviços oferecidos e/ou com a quantidade de usuários.

Isso nos faz refletir se a infraestrutura da Internet é capaz de suportar o avanço contínuo de usuários e aplicações conseguindo manter a sua qualidade de serviço (QoS), atendendo os requisitos esperados dos serviços oferecidos. Vale salientar que o sucesso da Internet se deve primordialmente a gama de serviços oferecidos e a facilidade com que estes são executados na grande rede mundial. Dentre os avanços dos últimos anos, pode-se destacar o compartilhamento de arquivos, áudio e vídeo (KaZaa, BitTorrent, Youtube), telefonia via Internet (Skype), sistemas de email com gigabytes de espaço (Gmail e Hotmail) e sistemas de relacionamento (Orkut e Facebook).

Esta característica é de fundamental importância em redes de computadores uma vez que a complexidade e imprevisibilidade destes sistemas é alta [2][4][6]. Diversos trabalhos na literatura tratam a robustez em função da disposição topológica e/ou adequação de tráfego [7][8][9][10][11][12], comprovando a relevância deste tema.

A robustez da topologia de rede é um aspecto chave no projeto de redes de computadores. Em geral, o projeto de rede baseia-se em heurísticas que equivocadamente dependem em grande parte dos casos da conectividade clássica. No

entanto a desconexão da rede não é o único requisito esperado pelos usuários e aplicações. Largura de banda, delay (atraso) e jitter (variação do atraso) são requisitos fundamentais nas redes atuais [6].

Para minimizar tais problemas, são utilizadas novas ideias de design topológico considerando diversas métricas e a adaptação autonômica do tráfego (de acordo com tais métricas). Para tentar alcançar a resiliência em grandes domínios, diversos trabalhos atuais da área [1][4][12][14] apresentam estudos relativos a definição de métricas de resiliência, modelagem, caracterização e otimização do tráfego, adequação do tráfego em função da topologia, análise de topologias menos susceptíveis a falhas, dentre outros.

Neste artigo será apresentada uma análise topológica baseada nos dados da rede visando a manutenibilidade da qualidade de serviço, em especial, o gerenciamento da largura de banda dos enlaces. Para tal, este artigo está organizado da seguinte forma: Na seção II é apresentada a métrica utilizada para a análise topológica e em seguida, na seção III, é apresentada sua validação com simulações. Nas seções IV e V são mostradas a análise topológica e sua validação, respectivamente. Por fim, as considerações finais na Seção VI.

2. Metodologia para a Determinação da Métrica Utilizada na Análise Topológica

Para fazer tal a análise em função da topologia, foram definidas cinco fases (Figura01): (i) Levantamento de Parâmetros; (ii) Definição de Cenários de Simulação; (iii) Análise de Parâmetros; (iv) Composição da Função e (v) Análise dos Resultados.

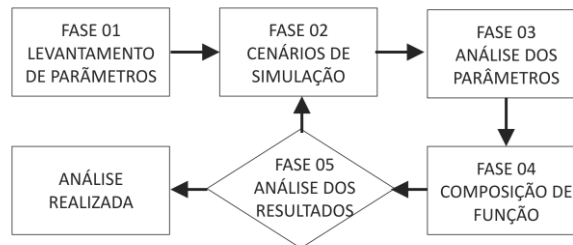


Fig. 1. Etapas da Metodologia Proposta.

Fase 01 – Levantamento de Parâmetros

No contexto de redes de computadores, diversos parâmetros relacionados à topologia podem ser levados em consideração como conectividade, grau dos vértices e quantidades de cliques. Antes do levantamento dos parâmetros será necessário formalizar uma rede de computador como um grafo.

Definição 01 – Dado um conjunto V de vértices e um conjunto E de arestas, uma rede de computadores pode ser definida como um grafo $G = (V, E)$ conexo e não direcionado de forma que E está contido em $|V|^2$, onde cada elemento de E corresponde a uma tupla com dois elementos de V . Com este mapeamento é indicado abaixo os parâmetros utilizados:

- Vértices – São os nós de rede, ou seja, os dispositivos que fazem as escolhas de caminho, em nosso caso os roteadores.
- Diâmetro – Corresponde a maior distância¹ entre dois quaisquer vértices de um grafo G . Para obter o valor tal parâmetro se faz necessário encontrar o caminho mínimo entre cada par de vértices de um grafo G . O maior comprimento encontrado é o diâmetro do grafo G .
- Grau Médio – O grau de um vértice v , representado por $d(v)$, é o número de vértices adjacentes a v . O grau médio dos vértices de um grafo G corresponde à média do grau de todos os vértices.
- Conectividade – Dado um grafo G conexo, a conectividade de G corresponde à quantidade mínima de arestas que devem ser removidos para torná-lo desconexo. Este parâmetro é uma medida de robustez importante no projeto de redes [16].
- Densidade – Dado um grafo G com cardinalidade $n=|V|$, a densidade de G corresponde à razão entre a quantidade de arestas de G e Kn (Grafo completo 2).
- Edge Betweenness e Vertice betweenness – Medidas de centralidade de grafos baseado em vértices ou arestas [9].
- Média de Cliques por Vértice – Dado um grafo G não-orientado, um clique de G corresponde a um subgrafo de G que é completo. Por exemplo, dado um grafo $G=\{(1,2),(2,3),(3,4),(4,5),(1,5),(1,3)\}$, um possível clique de G pode ser representado por $\{(1,2),(2,3),(1,3)\}$.
- Média de Fluxo Máximo – O fluxo máximo entre dois vértices v_i e v_j em um grafo valorado $G = (V,E)$ é a capacidade máxima (c) entre v_i e v_j . Para calcular o fluxo máximo TR, algumas propriedades devem ser respeitadas:
 - Restrição de capacidade – $\forall v_i, v_j \in V, f(v_i, v_j) \leq c(v_i, v_j)$.
 - Simetria – $\forall v_i, v_j \in V, f(v_i, v_j) = f(v_j, v_i)$.

A média do Fluxo Máximo corresponde ao somatório dos fluxos máximos calculados individualmente para cada par de vértices de G dividido pela quantidade de pares de vértice de G . Utilizaremos o algoritmo proposto por [18].

Fase 02 - Determinação do Cenário de Testes

Para a determinação do cenário de testes é necessário especificar topologias, perfil de tráfego e restrições do cenário. A ideia básica do cenário de simulação é alocar tráfego nas redes e verificar qual tem melhor comportamento quanto a minimização da alocação de recursos.

¹ A distância entre dois vértices em um grafo G é o número de arestas em um caminho mínimo conectando eles.

² Um grafo G é completo quando G é um grafo simples em que todo vértice é adjacente a todos os outros vértices

Informações da Topologia – Em [16], a análise de infraestrutura de redes é realizada por meio de grafos não planares, ou seja, não tem representação no plano, e representam objetos em três dimensões. Em geral, tais grafos não são comuns na infra-estrutura de redes. Portanto, neste projeto tornamos tais grafos planares e restringimos a quantidade de vértices (cardinalidade) em 20 ($|V|=20$). Além disso, foram gerados grafos planares aleatórios com a mesma cardinalidade visando ampliar o ambiente de testes (Figura 2).

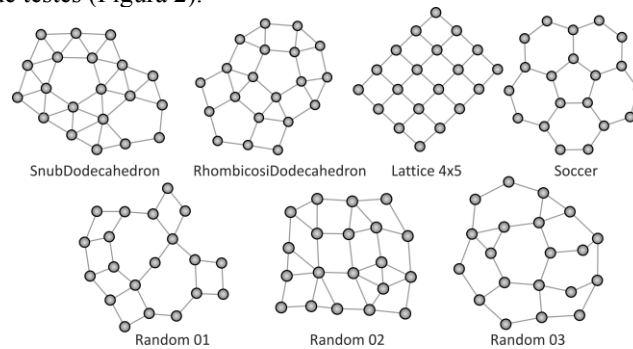


Fig. 2. Exemplos de Grafos Utilizados

Perfil de Tráfego e Restrições do Cenário – Para validar a alocação de recursos de rede, foram criadas 6 diferentes classes de serviço com a mesma cardinalidade visando ampliar o ambiente de testes. Alguns pontos desta fase merecem destaque, como:

- A alocação de recursos é baseada em fluxo, ou seja, o pacote tem rota definida no primeiro roteador da rede. Estratégia comumente utilizada em Engenharia de Tráfego em Redes seja com MPLS ou Redes Ópticas.
- Os fluxos são gerados aleatoriamente usando 6 classes de serviço (Tabela 1).
- É utilizado o algoritmo de Dijkstra[17] de busca de menor caminho para todas as simulações. Estão disponíveis também os algoritmos de Bellman-Ford e Johnson.
- A análise é feita em função da largura de banda e o comprimento dos fluxos.

Table 1. Tipos de Serviços Utilizados.

| identificador | tipo de serviço | largura de banda |
|---------------|------------------------|------------------|
| 1 | http | 256 |
| 2 | ftp | 128 |
| 3 | voice | 16 |
| 4 | outros | 128 |
| 5 | voice - high quality | 64 |
| 6 | video | 256 |
| 7 | video - high quality | 2048 |
| 8 | real-time applications | 8 |

Fase 03 – Análise dos Parâmetros Relevantes em Função da Largura de Banda

O objetivo desta fase é definir qual(is) parâmetro(s) são mais relevantes na determinação da robustez da rede. Inicialmente foram executadas as simulações para as redes especificadas (Figura 2) e agrupadas juntamente com os parâmetros especificados na Fase 01 (Tabela 2).

Table 2. Relação entre Parâmetros e Redes Utilizadas

| Grafo | Snub Dodecahedron | Random 2 | Rhombicosi Dodecahedron | Lattice | Random 3 | Random 1 | Soccer Ball |
|------------------------------|-------------------|----------|-------------------------|---------|----------|----------|-------------|
| Vértices | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Densidade | 0,21 | 0,18 | 0,17 | 0,16 | 0,15 | 0,14 | 0,13 |
| Diâmetro | 6 | 6 | 6 | 7 | 6 | 7 | 6 |
| Grau médio | 4 | 3,5 | 3,3 | 3,1 | 2,8 | 2,7 | 2,5 |
| Vertice Betweenness | 14,95 | 15,80 | 16,70 | 19,00 | 17,80 | 20,60 | 21,25 |
| Edge Betweenness | 12,23 | 14,46 | 15,79 | 18,38 | 19,50 | 22,30 | 24,60 |
| Média de Cliques por Vértice | 3,95 | 3,10 | 2,90 | 2,55 | 2,50 | 2,35 | 2,25 |
| Média do Fluxo Máximo | 3,95 | 2,95 | 2,91 | 2,71 | 2,43 | 2,24 | 2,24 |
| Conectividade | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Largura de Banda Média | 2024,03 | 2244,37 | 2526,42 | 2674,84 | 3066,79 | 3450,70 | 3644,76 |
| Caminho médio | 3,11 | 3,06 | 3,18 | 3,27 | 3,27 | 3,49 | 3,58 |

Em seguida, a tabela foi ordenada em função das topologias que utilizavam menos os links (menor largura de banda média) e os parâmetros foram divididos em dois grupos: inversamente proporcionais (Figura 3) e diretamente proporcionais (Figura 4)

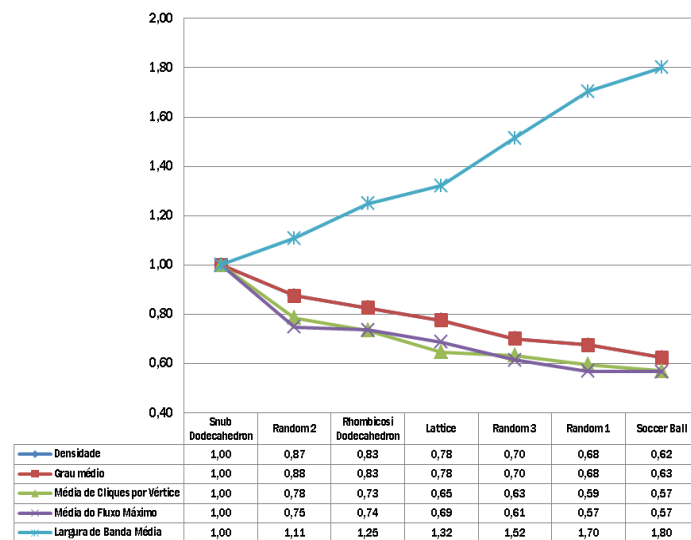


Fig. 3. Parâmetros Inversamente Proporcionais

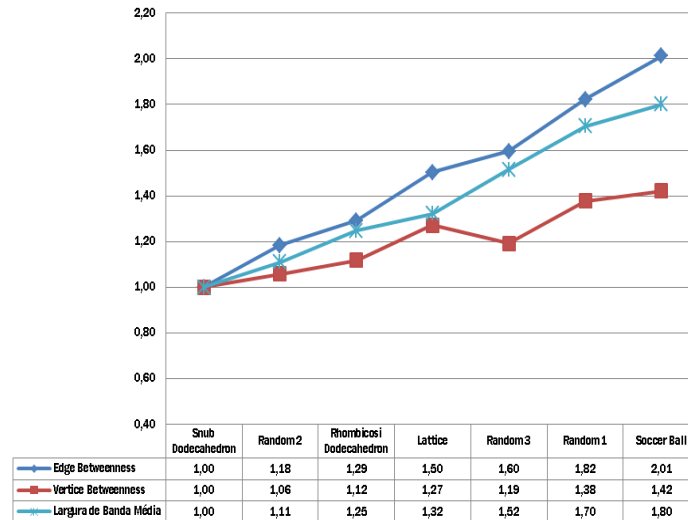


Fig. 4. Parâmetros Diretamente Proporcionais

Foi verificado que alguns parâmetros tinham o crescimento proporcional, como por exemplo, média de cliques por vértice e média do fluxo máximo por vértice. Dessa forma, os parâmetros foram filtrados resultando os dados da Tabela 3.

Table 3. Parâmetros Seleccionados após Filtragem.

| Grafo | Snub Dodecahedron | Random 2 | Rhombicosi Dodecahedron | Lattice | Random 3 | Random 1 | Soccer Ball |
|------------------------|-------------------|----------|-------------------------|---------|----------|----------|-------------|
| Densidade | 0,21 | 0,18 | 0,17 | 0,16 | 0,15 | 0,14 | 0,13 |
| Edge Betweenness | 12,23 | 14,46 | 15,79 | 18,38 | 19,50 | 22,30 | 24,60 |
| Média do Fluxo Máximo | 3,95 | 2,95 | 2,91 | 2,71 | 2,43 | 2,24 | 2,24 |
| Largura de Banda Média | 2024,03 | 2244,37 | 2526,42 | 2674,84 | 3066,79 | 3450,70 | 3644,76 |

Fase 04 – Composição de Função

O objetivo desta fase é encontrar uma função que a partir dos parâmetros seleccionados (densidade, edge betweenness e média do fluxo máximo) fosse possível estimar o quão robusta é a topologia analisada.

A Tabela III foi refeita com os valores relativos (percentuais) em função da topologia Snub Dodecahedron (menor largura de banda). A partir daí foi criada uma função com a composição dos parâmetros seleccionados (Figura 5).

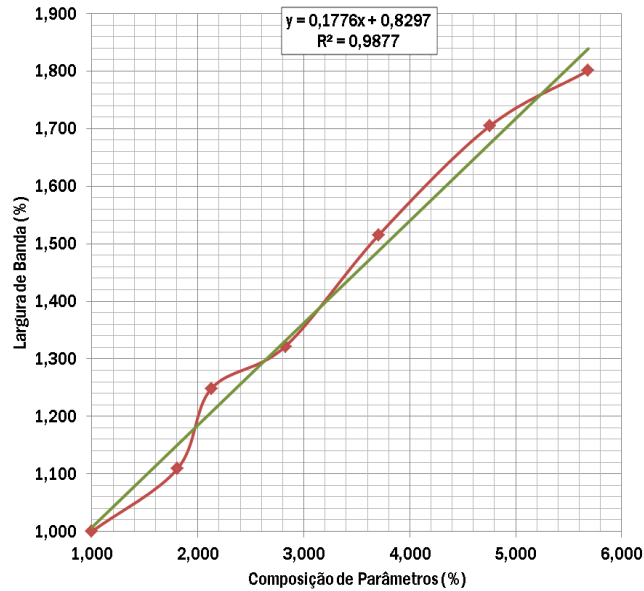


Fig. 5. Função encontrada para os dados simulados

Fase 05 – Validação de Resultados

A validação dos resultados foi realizada através da aplicação da função encontrada em quatro diferentes topologias, três clássicas e uma randômica. O procedimento consiste em alocar o mesmo perfil de tráfego das topologias anteriores e comparar com o resultado teórico das funções. Maiores detalhes serão vistos na Seção III.

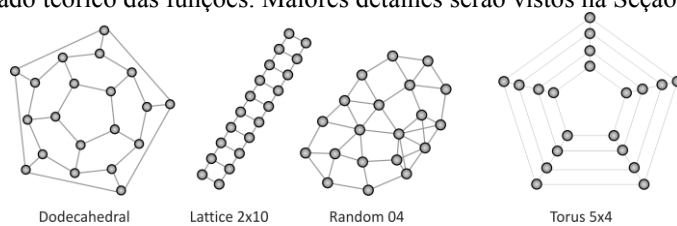


Fig. 6. Exemplos de Topologias Utilizadas para Validação da Função

3. Validação da Métrica Utilizada na Análise Topológica

Conforme citado anteriormente as simulações realizadas tiveram foco na análise da largura de banda média utilizada pelas topologias. Na validação foi observado também o caminho mínimo dos fluxos de rede.

Cenário 01 – Análise da Largura de Banda (Figura 7)

- Objetivo – Analisar a largura de banda (mínima / média / máxima)
- Topologias – 7 diferentes topologias (especificadas anteriormente)
- Quantidade de Fluxos – 100 (todos aleatórios em função da origem/destino e tipo de serviço (Tabela I))
- Quantidade de Simulações – 56 (oito por topologia)

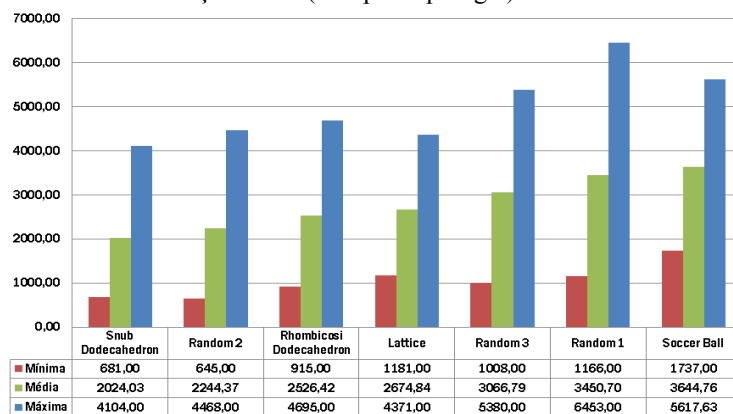


Fig. 7. Resultados Obtidos.

Cenário 02 – Análise da Largura de Banda com Restrições (Figura 8)

- Objetivo – Analisar a quantidade de tráfego alocado mesmo com restrições nos links. A medida utilizada é a quantidade de fluxos alocados. Para tal colocamos uma restrição que não fosse possível a alocação de todos os fluxos (teste de stress da rede).
- Topologias – 7 diferentes topologias (especificadas anteriormente)
- Quantidade de Fluxos – 100 (todos aleatórios em função da origem/destino e tipo de serviço (Tabela I))
- Quantidade de Simulações – 56 (oito por topologia)

Cenário 03 – Análise da Robustez (ou Resiliência) à falhas (Figura 9)

- Objetivo – Analisar a robustez mediante falhas aleatórias geradas nos enlaces de redes. Verificando o total de tráfego não alocado.
- Topologias – 7 diferentes topologias (especificadas anteriormente)
- Quantidade de Fluxos – 100 (todos aleatórios em função da origem/destino e tipo de serviço (Tabela I)
- Padrões de falha – 5% de falhas tipo crash, geradas 3 vezes aleatoriamente.
- Quantidade de Simulações – 168 (oito por topologia para cada conjunto de falhas)

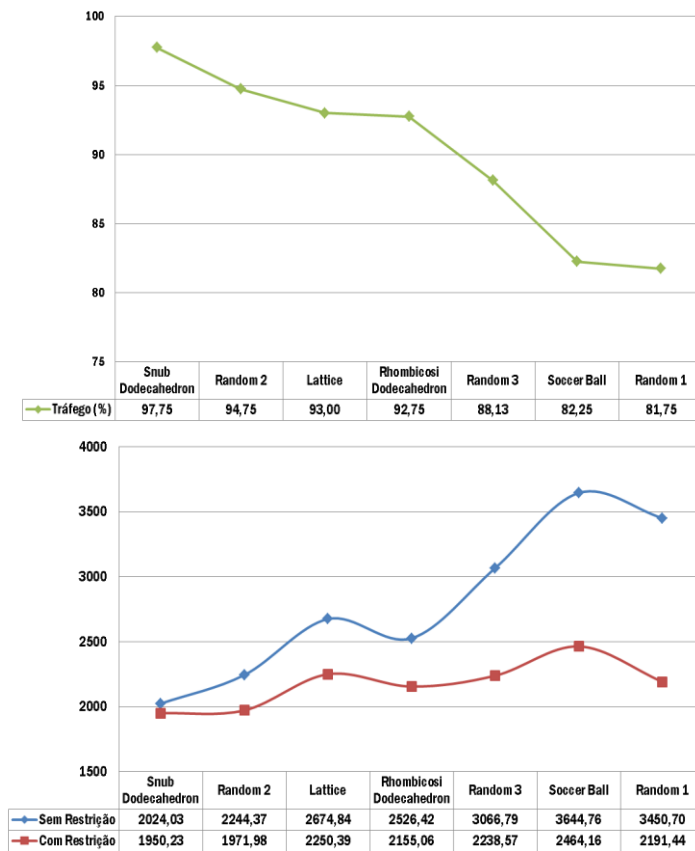


Fig. 8. Em verde a queda percentual de alocação por rede simulada. Em vermelho a queda da utilização dos links por rede com restrição de banda.

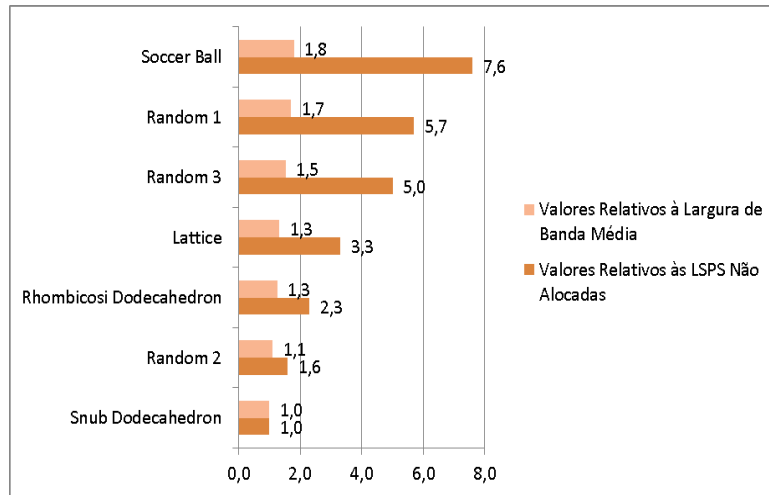


Fig. 9. Média de Tráfego Não Alocado

Validação

Após todas as simulações aplicamos as mesmas simulações dos cenários 01 e 02 nas redes definidas para a. Observou-se que os resultados teóricos (encontrados com a função) estão de acordo com as simulações (Figura 10).

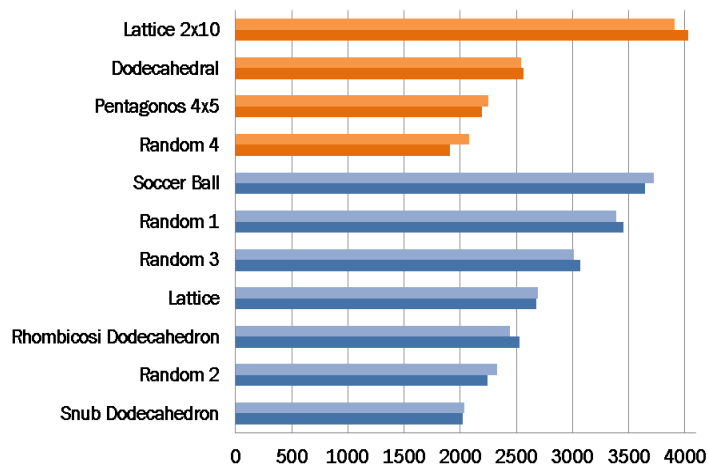


Fig. 10. Resultados simulados (azul e laranja claros) e teóricos (azul e laranja escuros). Em laranja as redes utilizadas exclusivamente para análise.

Considerações Finais Relacionadas à Métrica

No estudo realizado utilizou-se de conceitos matemáticos de teoria dos grafos, algoritmos e redes de computadores. O objetivo era realizar uma análise topológica em função do perfil de tráfego para tratar aspectos da resiliência em redes de computadores. Para isso, foi realizada a definição e o teste de métricas para a medição da robustez e qualidade de serviço em face à imprevisibilidade e complexidade do tráfego da internet, acompanhada do desenvolvimento de uma metodologia para a composição da função que estima a utilização média da rede. Os resultados obtidos foram satisfatórios tendo em vista o baixo índice de erros – 2,61% na média – conforme a Tabela 4.

Table 4. Parâmetros Selecionados após Filtragem.

| Grafo | Largura de Banda Real (Simulação) | Largura de Banda Estimada (Teórico) | Erro Absoluto |
|-------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|---------------|
| Snub Dodecahedron | 2024,03 | 2038,80 | 0,72% |
| Random 2 | 2244,37 | 2328,84 | 3,63% |
| Rhombicosi Dodecahedron | 2526,42 | 2443,88 | 3,38% |
| Lattice | 2674,84 | 2694,79 | 0,74% |
| Random 3 | 3066,79 | 3011,96 | 1,82% |
| Random 1 | 3450,70 | 3389,31 | 1,81% |
| Soccer Ball | 3644,76 | 3721,72 | 2,07% |
| Lattice 2x10 | 4026,93 | 3906,22 | 3,09% |
| Pentagonos 4x5 | 2196,46 | 2253,08 | 2,51% |
| Random 4 | 1910,00 | 2078,90 | 8,12% |
| Dodecahedral | 2560,67 | 2539,11 | 0,85% |

4. Metodologia da Análise Topológica

A análise topológica deve ser executada visando a minimização do seu tempo de execução. Para tal, foi adotada a estratégia de dividir para conquistar baseada na densidade da rede em questão [5]. Com a maximização da densidade é possível aumentar a quantidade de caminhos possíveis entre vértices. Uma visualização gráfica da análise pode está ilustrada na Figura 10.

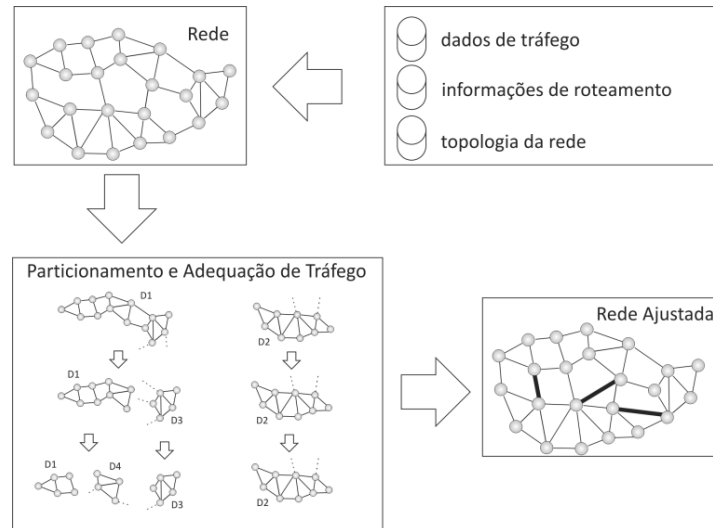


Fig. 10. Infraestrutura desenvolvida.

A análise começa recebendo os dados da rede em formato de texto com tabulações. Em seguida a rede original é construída dentro do simulador. A fase crítica é o particionamento (baseado em densidade) e consequente verificação de adequação do tráfego nos domínios criados.

No exemplo da Figura 10, existem quatro domínios onde serão verificados o fluxo máximo entre vértice e comparado ao total de perfil de tráfego pertencente a esta partição da rede. Com isso é possível determinar onde serão inseridos os enlaces baseado na pior relação entre a capacidade da rede (fluxo máximo entre todos os pares de vértices da rede) e o tráfego alocado nela.

5. Homologação DA Análise Topológica Proposta

Para este projeto duas classes de cenários de testes com dois objetivos distintos:

- (i) Testar o funcionamento da solução mediante um stress test com uma rede com 10000 fluxos, 144 nós e 264 enlaces
- (ii) Testar se a solução impacta no comprimento médio dos caminhos

Em ambos os casos, o algoritmo utilizado para busca de caminhos em todas as simulações é o algoritmo de Dijkstra por ser uma referência na literatura e para padronizar as simulações realizadas. Para que a escolha das topologias simuladas não sejam definidas pelo administrador – podendo influenciar nos resultados – a rede gerada considera as seguintes premissas:

- A rede gerada é conexa;

- O grau mínimo de todos os nós (vértices) é maior ou igual a dois, para evitar o roteamento trivial;
- A rede é um grafo simples, ou seja, são grafos não direcionados que não contêm loops e nos quais existe mais de uma aresta para cada par de diferentes vértices.
- A rede é homogênea, permite particionamento com simetria entre partições. O objetivo é fazer análise comparativa entre partições.

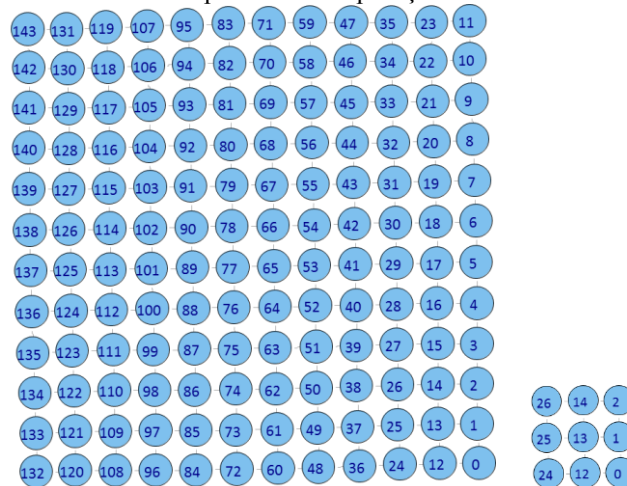


Fig. 11. Rede Analisada e uma possível partição.

Testes Experimentais

Aplicamos a análise para reduzir a largura de banda da rede em 10% do valor atual. O objetivo é medir se após tal análise a meta foi alcançada. Para tal, seguimos os passos:

- Inserção da topologia no simulador construído. Todas as simulações utilizaram o compilador R com o pacote igraph.
- Geração 10000 de fluxos de rede para testes exaustivos do backbone com geração de tráfego aleatória
- Medição e cálculo do desvio padrão da largura de banda dos enlaces e comprimento médio dos caminhos
- Estimativa da redução da largura de banda através de análise teórica (sem simulações)
- Confronto dos resultados teóricos e práticos da simulação

Após alocação dos 10000 fluxos, foram obtidos os seguintes resultados apresentados nas Tabelas abaixo.

Table 5. Resultados Obtidos da Alocação de 10000 Fluxos na Rede Em 10 Simulações. À Direita, os Valores Estimados do Intervalo de Confiança para 95%. Valores em Mbps.

| Utilização dos enlaces | | mínimo | média | máximo |
|------------------------------|---|-----------------------|----------|--------|
| Simulações | 0 | 26176 | 69338,42 | 99456 |
| | 1 | 25856 | 69365,33 | 98688 |
| | 2 | 25280 | 71965,45 | 99884 |
| | 3 | 24288 | 68337,82 | 98976 |
| | 4 | 24704 | 71157,45 | 99920 |
| | 5 | 25472 | 68913,45 | 97888 |
| | 6 | 26560 | 69286,55 | 98304 |
| | 7 | 22208 | 70657,33 | 100608 |
| | 8 | 25952 | 67637,11 | 98240 |
| | 9 | 25600 | 68503,59 | 97376 |
| Média | | 25209,6 | 69516,25 | 98934 |
| Intervalo de Confiança (95%) | | [68137,77 - 70894,73] | | |

Table 6. Resultados Obtidos da Alocação de 10000 Fluxos na Rede, em 10 Simulações, após a Inserção dos Novos Enlaces. À Direita, os Valores Estimados do Intervalo de Confiança para 95%. Valores em Mbps.

| Utilização dos enlaces | | mínimo | média | máximo |
|------------------------------|---|----------------------|----------|----------|
| Simulações | 0 | 22400 | 61352,25 | 94944 |
| | 1 | 18784 | 63242,27 | 130528 |
| | 2 | 22464 | 65708,78 | 137760 |
| | 3 | 21152 | 62487,88 | 132992 |
| | 4 | 25792 | 65136,48 | 133472 |
| | 5 | 25792 | 63113,55 | 127424 |
| | 6 | 25376 | 63572,78 | 130240 |
| | 7 | 21248 | 64853,97 | 133888 |
| | 8 | 20608 | 62175,64 | 128896 |
| | 9 | 20480 | 63144,84 | 127904 |
| Média | | 22409,6 | 63478,84 | 127804,8 |
| Intervalo de Confiança (95%) | | [62220,08 - 64737,6] | | |

Table 7. Análise dos Resultados

| Análise dos Resultados | | | Observações |
|---------------------------------------|--------|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| Utilização dos enlaces | mínimo | -11,11% | A redução média dos enlaces foi de 8,68% apresentando um erro de 1,32% do valor estimado. |
| | média | -8,68% | |
| | máximo | 29,18% | |
| Aumento dos enlaces (de 264 para 268) | | 1,52% | Esta redução foi obtida com o acréscimo de apenas 1,52% |

Observa-se que houve uma redução de largura de banda média de 8,68%, ou seja, um erro de 1,32%, considerando a meta de 10%. Tais resultados foram obtidos com a inserção de apenas 1,52% de novos enlaces (saindo de 264 para 268).

A nova simulação abaixo considera enlaces finitos, ou seja, eles têm uma largura de banda máxima, assim como em redes reais. Foi colocado 100 Mbps nos enlaces (links). Observa-se que o erro encontrado nos resultados foi de 0,2%, considerando a meta de 10%. Também foi visto que a solução também reduz o caminho mínimo (não houve meta estipulada para este caso).

O lado negativo, que precisa ser investigado, é que alguns enlaces ficaram sobrecarregados (100% de utilização). Certamente os novos enlaces promoveram uma redução média em função de exercerem centralidade no grafo (rede) e por consequência promoverem o caminho mais curto.

Table 8. Comparação entre os Resultados antes e depois da Inserção de Novos Enlaces dm mais uma Série de 10 Simulações.

| Parâmetros | | Original | Pós-Análise | Redução |
|--------------------------------|--------|----------|-------------|---------|
| Largura de Banda | mínimo | 25600,00 | 24256,00 | -5,25% |
| | médio | 68894,79 | 62142,33 | -9,80% |
| | máximo | 97376,00 | 100000,00 | 2,69% |
| Comprimento médio dos caminhos | | 8,08 | 7,64 | -5,55% |

Testes Experimentais com uma rede real

Conforme mencionado na metodologia, aplicamos a estratégia definida para reduzir a largura de banda da NTTNET (Figura 12) . Para tal seguimos os passos:

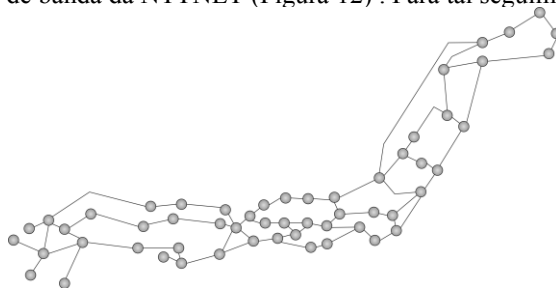


Fig. 12. NTTNet.

- (i) Inserção da topologia no simulador;
- (ii) Geração 10000 de fluxos de rede para testes exaustivos do backbone com geração de tráfego aleatória;
- (iii) Medição e cálculo do desvio padrão da largura de banda dos enlaces e comprimento médio dos caminhos;

- (iv) Estimação da redução da largura de banda através de análise teórica (sem simulações);
- (v) Confronto dos resultados teóricos e práticos da simulação;

Após alocação dos 10000 fluxos foram obtidos os seguintes resultados (sem a análise topológica):

- Largura de Banda Média – 106,029 Mbps
- Desvio Padrão com IC de 95% – [92,905Mbps , 119,154Mbps]
- Comprimento Médio dos Caminhos – 6,60 nós
- Proposta de redução da largura de banda média para 90Mbps (com a análise topológica)

Solução Encontrada – Inserção de 14% dos enlaces em pontos que maximizam os parâmetros relevantes

- Largura de Banda Média – 90,749 Mbps (erro de apenas 0,83%)
- Desvio Padrão com IC de 95% – [74,602Mbps , 106,896 Mbps]
- Comprimento Médio dos Caminhos – 6,49 nós

6. CONCLUSÃO

Com a análise topológica baseada no perfil de tráfego foi possível obter bons resultados em relação a manutenibilidade da QoS. Foi verificado que a análise topológica apresentou um baixo erro percentual. Um ponto positivo verificado como consequência da análise foi também a redução do comprimento médio dos caminhos.

Alguns pontos merecem ser estudados como metrologia do tráfego, inserção de falhas baseada em modelos e experimento com redes de pesquisa. Como resultado parcial, foi construída uma coleção de algoritmos que poderão ser utilizadas em projetos futuros de redes de computadores como auto-adaptação da rede em casos de falhas ou desastres.

Referências

1. Dekker, A.H. Simulating Network Robustness for Critical Infrastructure Networks. Proceedings of 28th Australasian Computer Science Conference, Newcastle, Australia, January 2005. Conferences in Research and Practice in Information Technology, Vol 38.
2. Granville, L. Gerenciamento Intergrado de Redes de Computadores. Tese de Doutorado. 2001. UFRGS.
3. Sociedade Brasileira de Computação. Grandes Desafios para a Computação no Brasil 2006-2016. Relatório Técnico. 2006, Belo Horizonte, MG, BRASIL.
4. Kim, S., Lee, H., and Lee, W. Y. 2006. Improving Resiliency of Network Topology with Enhanced Evolving Strategies. In Proceedings of the Sixth IEEE international Conference on Computer and Information Technology (September 20 - 22, 2006). CIT. IEEE Computer Society, Washington, DC, 149.
5. Bezerra, R. M. S. ; Martins, J. S. B. . Network Partitioning and Self-sizing Methods for QoS Management with Autonomic Characteristics. In: Asia-Pacific Network Operations and Management

- Symposium (APNOMS), 2009, Jeju-Korea. Lecture Notes in Computer Science (LNCS): Proceeding of the: 12th Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium (APNOMS 2009), 2009. v. 5787. p. 151-160.
6. James P.G. Sterbenz, D. Huitchison, et.al., Resilience and survivability in communication networks: Strategies, principles, and survey of disciplines, *Computer Networks*, In Press, Uncorrected Proof, Available online 17 March 2010, ISSN 1389-1286.
 7. Van Mieghem, P. Robustness of large networks. *Systems, Man and Cybernetics*, 2005 IEEE International Conference on , vol.3, no., pp. 2372- 2377 Vol. 3, 10-12 Oct. 2005.doi: 10.1109/ICSMC.2005.1571503
 8. Beygelzimer, A., Grinstein, G., and Rish, I. 2004. Improving Network Robustness. In Proceedings of the First international Conference on Autonomic Computing. International Conference on Autonomic Computing. IEEE Computer Society, Washington, DC, 322-323.
 9. Newman M E J and Ghoshal G, Bicomponents and the robustness of networks to failure, 2008 *Phys. Rev. Lett.* 100 138701
 10. Wetherall, D., Anderson, T. Design Principles for a Robust Network Infrastructure. White Paper. Department of Computer Science and Engineering – University of Washington. EUA. 2002.
 11. Hoceineï, S., Mellouk, A. Amirat, Y. Improving Scalability and Robustness of NQOSP Algorithm in Dynamic Traffic's Network. Autonomic and Autonomous Systems and International Conference on Networking and Services, Joint International Conference on, p. 8, Joint International Conference on Autonomic and Autonomous Systems and International Conference on Networking and Services, 2005.
 12. Sydney A., Scoglio, C., Schumm, P., Kooij, R. Elasticity: topological characterization of robustness in complex networks, Proceedings of the 3rd International Conference on Bio-Inspired Models of Network, Information and Computing Systems, Nov. 25-28, 2008, Hyogo, Japan.
 13. Ziviani, A. ; Duarte, O. C. M. B. . Metrologia na Internet. In: Francisco Vilar Brasileiro. (Org.). Minicursos do XXIII Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores - SBRC'2005. : Sociedade Brasileira de Computação (SBC), 2005, v. , p. 285-329.
 14. Sousa, L. G. ; Galvão, Y. ; Bezerra, R. M. S. . Proposta de uma Metodologia para Determinação da Robustez para Redes de Computadores. In: Escola Regional de Computação Bahia-Alagoas-Sergipe (ERBASE2012), 2012, Juazeiro - Bahia. Escola Regional de Computação Bahia Alagoas Sergipe (ERBASE2012).
 15. Bellman, R. On a Routing Problem. *Quarterly of Applied Mathematics*, v. 16, p. 87-90, 1958.
 16. Dekker, A.H. Simulating Network Robustness for Critical Infrastructure Networks. Proceedings of 28th Australasian Computer Science Conference, Newcastle, Australia, January 2005. *Conferences in Research and Practice in Information Technology*, Vol 38.
 17. Dijkstra, E. W. A note on two problems in connexion with graphs. *Numerische Mathematik*, v. 1, n. 1, p. 269-271, December 1959. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/BF01386390>>.
 18. Goldberg and R E Tarjan. 1986. A new approach to the maximum flow problem. In Proceedings of the eighteenth annual ACM symposium on Theory of computing (STOC '86). ACM, NY, USA, 136-146.
 19. Guo, C., Wang, L., Zhou, F., Huang, L., and Peng, Z. 2008. Analysis on the "Robust Yet Fragile" Nature of Internet: Load, Capacity and the Cascading Failure Avalanche Effect. In Proceedings of the 2008 the 9th international Conference For Young Computer Scientists. ICYCS. IEEE Computer Society, Washington, DC, 2149-2153.
 20. Johnson, D. B. Efficient algorithms for shortest paths in sparse networks. *J. ACM*, ACM, New York, NY, USA, v. 24, n. 1, p. 1-13, 1977. ISSN 0004-5411.
 21. R Development Core Team. R: A language and environment for statistical computing, 2011. ISBN 3-900051-07-0.
 22. Csardi G, Nepusz T: The igraph software package for complex network research, *InterJournal, Complex Systems* 1695. 2006. <http://igraph.org>.