

# DQMA-Fuzzy: Predição de Falhas em Redes de Grades OBS com Plano de Controle GMPLS

Mariana Bechara<sup>1</sup>, Jaime Sousa<sup>1</sup>, Fernando Farias<sup>1</sup>, Davison Holanda<sup>2</sup>, Eduardo Cerqueira<sup>1,2</sup>, Antônio Abelém<sup>1,2</sup>

**Resumo**—Este artigo apresenta uma proposta para predição de falhas em rede de grade OBS que auxilia as aplicações em ambientes de colaboração, como a *E-Science*. Os agentes de monitoração de tráfego (DQMA-Fuzzy) verificam parâmetros relacionados à QoS e as imperfeições nos enlaces ópticos. Por apresentar uma solução mais rápida e facilmente implementável, foi desenvolvido um sistema baseado em lógica Fuzzy para dar mais robustez as decisões dos agentes. Simulações no NS-2 (*Network Simulator – 2*) demonstram que a proposta minimiza bloqueios e balanceia o uso dos recursos da grade, garantindo níveis de serviços bem definidos, auxiliando na engenharia de tráfego e na predição de falhas.

**Palavras-Chave**—redes ópticas, OBS, GMPS, Lógica Fuzzy.

**Abstract**—This paper presents a proposal for predict failures in OBS grid network to assist applications in collaborative environments, like *E-Science*. Agents (DQMA-Fuzzy) monitoring traffic for QoS parameters related and others related to imperfections in optical links. By presenting a solution faster and easily implementable, a system based on fuzzy logic has been developed to give more robustness and flexibility in decision-making agents. NS-2 (*Network Simulator – 2*) simulations show that the proposed Fuzzy-DQMA is able to minimize blockages and balancing the use of grid resources, ensuring well-defined service levels, assisting in traffic engineering and fault prediction.

**Keywords**—optical network, OBS, GMPS, Fuzzy Logic.

## I. INTRODUÇÃO

Com os avanços da tecnologia de pesquisa colaborativa, as redes de ensino e pesquisa estão passando por transformações para se adequar aos requisitos impostos por novas aplicações. Dentre estas aplicações, podemos destacar a *E-Science* que define um conjunto de aplicações científicas avançadas que utilizam grandes quantidades de recursos como processamento, armazenamento, memória e rede [1].

A computação em grade (*Grid computing*) surge como um modelo que propõe o uso de recursos computacionais distribuídos em diversas localizações, para resolver problemas que exigem grande poder computacional. Este modelo necessita de uma grande quantidade de largura de banda que pode ser suprida pela utilização das redes ópticas. Atualmente, as redes OBS (*Optical Burst Switching*) e o plano de controle GMPLS (*Generalized Multiprotocol Label Switching*) são dois paradigmas que suportam as aplicações em grade [4].

A comutação de rajadas ópticas apresenta vantagens se comparada às outras abordagens de comutação óptica, como: a alta utilização dos enlaces, o baixo *overhead* de processamento/sincronização e a separação do plano de controle, o qual é responsável por localizar os recursos e sinalizar de maneira inteligente o caminho a ser utilizado [1]. Logo, a rede OBS se apresenta como uma opção atrativa para

Mariana Bechara<sup>1</sup>, Jaime Sousa<sup>1</sup>, Fernando Farias<sup>1</sup>, Davison Holanda<sup>2</sup>, Eduardo Cerqueira<sup>1,2</sup>, Antônio Abelém<sup>1,2</sup>, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Pará (UFPA), <sup>2</sup> Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, Universidade Federal do Pará (UFPA), E-mails: {marianabechara, davisonph}@gmail.com, {fernndf, cerqueira, abelem}@ufpa.br, jaimes@click21.com.br.

ser utilizado na computação em grade, o que resulta no conceito de Grid-OBS (GOBS - *Grid Optical Burst Switched Networks*) [7].

Para diminuir a complexidade da arquitetura, fornecer maior inteligência ao plano de controle da rede OBS, reduzir problemas de roteamento inerentes das redes IP (*Internet Protocol*), assim como fornecer engenharia de tráfego, foi proposta a utilização do plano de controle com uso do protocolo GMPLS [6] nas redes OBSs.

O plano de controle pode localizar os recursos e sinalizar o caminho a ser utilizado de maneira inteligente. Nas redes com GMPLS, os LSPs (*Label Switched Path*) podem apresentar problemas. Por este motivo, este trabalho propõe-se a minimizá-los através da utilização de técnicas de inteligência computacional que analisam múltiplas métricas para otimizar a tomada de decisão e realizar a predição de falhas.

Para realizar esta predição são necessárias técnicas que possam ser facilmente modificadas, que sejam rápidas computacionalmente, implementadas em microprocessadores, que possam lidar com incerteza e com múltiplas variáveis. Neste caso, a lógica Fuzzy preenche esses requisitos, oferecendo robustez e flexibilidade na tomada de decisão, otimizando a realização da predição de falhas no enlaces ópticos e possibilitando a execução de mecanismos reativos para minimizar as perdas de rajadas ópticas ou tarefas (*jobs*).

Este trabalho tem como objetivo realizar a predição de falhas em enlaces ópticos de redes GOBS, através da utilização de lógica Fuzzy para maximizar a confiabilidade da rede. Para tal, foi realizada uma extensão do trabalho de [1] onde os agentes da rede GOBS agora analisam métricas de nível físico (atenuação e temperatura) e a probabilidade de bloqueio de transmissão de uma rajada óptica baseada em classes de serviço, a fim de avaliar o comportamento de um enlace óptico e predizer sua falha. Esta proposta é avaliada através do simulador NS-2 (*Network Simulator – 2*) com o objetivo de analisar seu comportamento na melhora do desempenho da rede.

Este artigo, além desta introdução possui ainda mais quatro seções. Na seção 2, são listados os trabalhos relacionados à proposta do artigo. Na seção 3, é apresentada a arquitetura de predição de falhas. Na seção 4, realiza-se a análise da proposta para verificar o seu impacto na predição de falhas em enlaces ópticos. Por fim, a seção 5 apresenta as considerações finais e lista alguns trabalhos futuros.

## II. TRABALHOS RELACIONADOS

[3] realiza uma revisão de aplicações que utilizam inteligência computacional para resolver problemas de redes ópticas, com foco no roteamento e alocação de comprimento de

onda considerando as degradações de camada física (*Impairment-Aware Routing and Wavelength Assignment - RWA-IA*) e no design da topologia física. Também apresenta o estado da arte de trabalhos relacionados, o que indica que estas técnicas são úteis para os pesquisadores de redes ópticas de próxima geração.

[5] apresenta um algoritmo Fuzzy-CAC (*Call Admission Control*), utilizado em rede GMPLS, com a função de tomar decisões levando em consideração as requisições de serviços, baseados em classe de QoS (*Quality of Service*), e os recursos de rede disponíveis, além de selecionar o esquema de proteção para o estabelecimento de LSP. Este trabalho demonstra que pode-se otimizar e prover técnicas efetivas de QoS em redes ópticas utilizando lógica Fuzzy. Porém não investiga e não prediz problemas que possam gerar falhas em LSP.

[1] apresenta uma arquitetura para o estabelecimento automático de conexões, que satisfazem às restrições de desempenho de aplicações em redes GOBS com plano de controle GMPLS. Para tal é utilizado um elemento chamado servidor GOBS, que coleta e armazena informações sobre recursos de rede e de grade, a fim de auxiliar no cálculo de caminhos determinísticos. Também mostra que esta proposta é capaz de melhorar e garantir níveis de serviços, além de minimizar bloqueios de rajadas ópticas e proporcionar melhor utilização dos recursos de rede e de grade. A partir deste artigo é verificada a possibilidade de que estes resultados podem ser tornar mais satisfatórios se for atribuída inteligência aos agentes da rede, devido o fato de antecipar falhas que só são conhecidas durante a transmissão dos dados.

Os trabalhos citados revelam que apesar de existirem poucos estudos que utilizem técnicas de inteligência computacional na provisão de QoS em redes ópticas e na realização de tolerância a falhas, aplicar estas técnicas é uma alternativa eficiente para resolver problemas complexos [3].

### III. ARQUITETURA DE PREDIÇÃO DE FALHAS EM REDES GOBS USANDO GMPLS

Um aspecto importante no contexto da computação em grade é a necessidade de se proporcionar disponibilidade de recursos. Portanto, engenharia de tráfego às aplicações de grade é fundamental, pois contribui para a redução dos problemas que surgem por perdas de pacotes, principalmente devido aos elevados tempos de comutação de um LSP para outro no protocolo GMPLS. Aliado a isso, as causas mais comuns de falhas nos sistemas de transmissões ópticas são: erro de roteamento, interrupção de linhas, degradação de desempenho e falhas de *hardware*.

A engenharia de tráfego proporcionada pela arquitetura GMPLS é uma opção atrativa para auxiliar na alocação dessas rotas determinísticas, uma vez que conta com protocolos de roteamento e sinalização que permitem a definição de LSPs de forma explícita ou baseada em certas restrições.

A arquitetura adotada neste trabalho é baseada na proposta de [1] e composta pelos elementos descritos a seguir, os quais sofreram alterações de acordo com o objetivo deste trabalho. É utilizada a lógica *Fuzzy* nos agentes de monitoração presentes em todos os equipamentos da rede, a fim de gerar alertas e prover uma detecção de falhas de maneira proativa para minimizar as perdas de *jobs*.

#### A. Monitoração de Recurso – DQMA-Fuzzy

Um agente de monitoração denominado DQMA (*Dynamic QoS Management Agent*) foi proposto em [2] com a finalidade

de monitorar os níveis de QoS experimentados por classes de rajadas ópticas em enlaces específicos da rede. Neste trabalho, o DQMA foi estendido e renomeado para DQMA-Fuzzy, pois além de monitorar os níveis de QoS, também coleta estatísticas “*on-line*” de valores relacionados à camada física (temperatura e a atenuação) que ocasionam perdas no enlace.

Estes agentes estão presentes em todos os nós da rede e podem ser de dois tipos: o de núcleo e o de borda, mostrados na Fig. 1. O primeiro é responsável por coletar informações e analisar o estado do enlace, na ocorrência de problema, este agente envia alarmes para o de borda. O segundo toma uma decisão de engenharia de tráfego no recebimento do alarme e gera uma solicitação de nova rota para o servidor GOBS, que será explicado a seguir.

O agente DQMA-Fuzzy pode enviar dois tipos de alarmes: o alarme alerta e o alarme problema. O primeiro indica a anormalidade (atenção) no enlace óptico, porém ainda está dentro dos limites toleráveis. Neste caso, é criada uma rota alternativa para o tráfego em questão que só será utilizada quando ocorrer a falha do enlace. O alarme problema informa que o enlace já ultrapassou o limite pré-estabelecido e poderá falhar, sendo obrigatória uma nova rota. Neste caso, o agente DQMA-Fuzzy de borda irá verificar se já existe uma rota alternativa pré-definida e a utilizará, caso não exista, irá solicitar uma nova rota ao servidor GOBS, esta comunicação está ilustrada na Fig. 1.

#### B. Servidor GOBS

O elemento chamado de servidor GOBS é responsável por guardar as informações referentes aos recursos de rede e decidir sobre a melhor rota para encaminhar uma tarefa. A partir de consultas efetuadas em elementos de rede e da grade, o servidor GOBS deve verificar que possíveis rotas são mais adequadas para uma determinada requisição (*job*). Quando houver a necessidade de inserção de um novo nó na grade, este precisará ser registrado no servidor GOBS.

A visão dos nós participantes constitui para o servidor GOBS um único domínio de atuação. Todos os caminhos calculados são estabelecidos dentro de domínio administrado pelo servidor, caracterizando um AS (*Autonomous System*) GOBS. A Fig. 1 ilustra a visão do servidor GOBS e seu domínio de atuação.

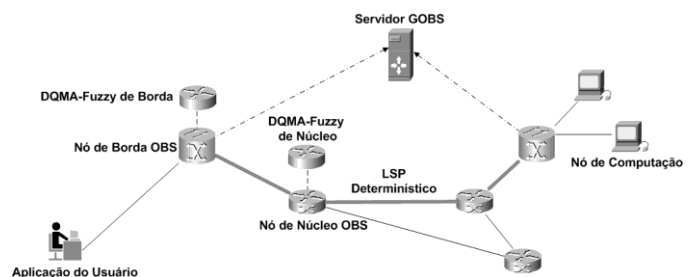


Fig. 1. Arquitetura GOBS com agentes DQMA.

O algoritmo de busca utilizado pelo servidor GOBS deste trabalho é baseado na proposta de viabilizar a seleção da rota e tem como objetivo retornar uma resposta ao nó de borda OBS que fez a requisição.

A resposta do servidor GOBS deverá conter a informação de uma rota explícita, que atende os requisitos da tarefa, levando em consideração o gerenciamento proativo e informando os enlaces com menor probabilidade de perda. Caso o nó de destino da grade esteja com problema no enlace, o algoritmo encontra uma nova rota para um novo destino.

C. Módulo Fuzzy

O módulo Fuzzy tem como objetivo determinar o estado do enlace óptico para prever as falhas e, quando necessário, gerar um alarme que é o responsável pela identificação/escolha de uma nova rota pelo servidor GOBS.

Este módulo foi construído baseado em sistemas difusos [9], que são sistemas que utilizam uma variedade de conceitos e técnicas para representar e inferir conhecimento impreciso e incerto. Os sistemas difusos são sistemas dinâmicos paralelos que estimam funções de entradas/saída, sendo que as relações entre as variáveis são representadas através de regras SE-ENTÃO na forma: SE (antecedente) ENTÃO (consequente).

O antecedente é uma proposição do tipo “x é A”, onde x é uma variável do problema e A é um termo linguístico (por exemplo: quente, frio e normal) geralmente representado por uma função de pertinência. O conjunto de regras SE-ENTÃO pode ser obtido através de especialistas no domínio do problema ou então diretamente de uma base de dados representativa do problema.

O sistema proposto analisa informações de probabilidade de bloqueio por classes e duas variáveis do nível físico, temperatura e atenuação, que foram utilizadas como entradas Fuzzy (fuzzificadas), que passam pelo processo de inferência das regras, resultando na análise do estado do enlace (defuzzificação).

Dentre as variáveis da camada física que afetam a qualidade da transmissão em um meio óptico, utilizou-se a atenuação e a temperatura, pois sua variação no transmissor é a causa da degradação da relação sinal/ruído.

Os valores utilizados para estas variáveis foram baseados numa média obtida a partir dos manuais dos equipamentos WDM (*Wavelength-Division Multiplexing*) e *switches* dos fabricantes Alcatel/Lucent e Datacom, que apesar de apresentarem valores negativos, estes foram desconsiderados após avaliação do comportamento dos equipamentos. Para representar o estado normal usou-se o intervalo fechado [0°C, 60°C] para a temperatura e o intervalo entre [0db, 50db] para a atenuação.

No caso da probabilidade de bloqueio definiram-se três classes de serviços para esta análise: classe 0, classe 1 e classe 2. Sendo a classe 0 de alta prioridade, a classe 1 com prioridade intermediária e a classe 2 a de melhor esforço, seus valores máximos permitidos foram propostos em [1].

Todos os intervalos das variáveis estão representados na Tabela I. Baseados nestes valores construíram-se as funções de pertinência para as entradas do sistema difuso que associam cada um dos parâmetros em variáveis *fuzzificadas*.

Tabela I. Intervalos limites para as variáveis.

Variáveis		Valores Limites		
		Normal	Aceitável	Não Aceitável
Atenuação (A)		25 < A < 50	0 < A < 25	A > 50
Probabilidade de Bloqueio (Pb)	Classe 0	0 < Pb <sub>0</sub> < 0.0005	0.0005 < Pb <sub>0</sub> < 0.001	Pb <sub>0</sub> > 0.001
	Classe 1	0 < Pb <sub>1</sub> < 0.0025	0.0025 < Pb <sub>1</sub> < 0.005	Pb <sub>1</sub> > 0.005
	Classe 2	0 < Pb <sub>2</sub> < 0.005	0.005 < Pb <sub>2</sub> < 0.01	Pb <sub>2</sub> > 0.01
Temperatura (T)		Frio	Normal	Quente
		0 < T < 18	18 < T < 60	T > 60

A Fig. 2 mostra as funções de pertinência para cada variável. É importante lembrar que as curvas apresentadas refletem a média da configuração de um equipamento de rede em particular. Elas podem ser modificadas de acordo com as necessidades e premissas de cada equipamento. Nesta configuração, utilizaram-se funções de pertinência para mapear cada uma das variáveis.

Foram utilizados funções de pertinência trapezoidais conforme ilustrado nas Fig. 2(a), Fig. 2(b), Fig. 2(c), Fig. 2(d) e Fig. 2(e), pois este tipo de função permite representar todo o intervalo de pontos de máximo para as variáveis de entrada (atenuação, temperatura e probabilidade de bloqueio).

As Fig. 2(c), Fig. 2(d) e Fig. 2(e) apresentam as funções de pertinência para as classes 0, 1 e 2, respectivamente e a Fig. 2(a) representa a atenuação. Para elas, são utilizados os seguintes termos linguísticos: normal, aceitável e não aceitável. Enquanto a Fig. 2 (b) representa a temperatura e utiliza os termos linguísticos: normal, quente e frio.

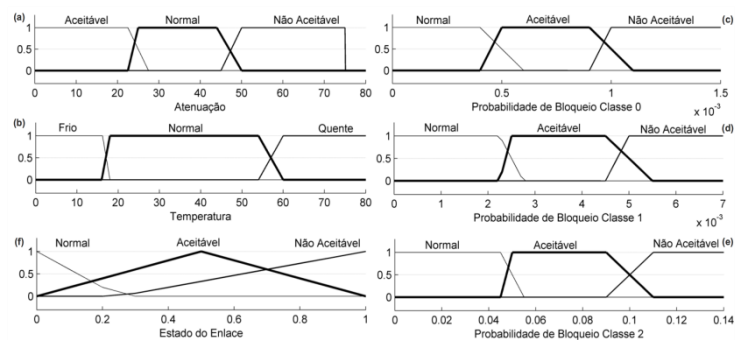


Fig. 2. Variáveis Linguísticas

O modo de inferência utilizado na base de regras foi baseado em composição, onde todas as regras da base de regras são combinadas com uma relação *Fuzzy* simples: união ou interseção (operadores E ou OU). A interpretação das regras SE-ENTÃO foi implementada pelo método de implicação de Mamdani (S-norma) [10], ou seja, para todas as regras que o grau de pertinência para função em questão for maior que zero, essas irão contribuir para o cálculo de saída correspondente do sistema de inferência.

A utilização deste tipo de máquina de inferência foi devido ao fato de suas vantagens como: simplicidade computacional, apelo intuitivo e por ser amplamente utilizada em sistemas difusos. A base de regras do problema é considerada como local pelo especialista em redes GOBS.

Este sistema difuso [10] possui como entrada três variáveis linguísticas, o que resulta num conjunto de vinte e sete regras para a base, aqui não descritas. Estas regras levam em consideração o conhecimento explícito da pessoa especialista no ambiente de rede.

Após a aplicação das regras de inferência, são gerados valores nebulosos que representam o grau de pertinência de cada uma das regras de inferência e é feito um mapeamento entre estas regras e a saída do sistema, que é um valor no intervalo contínuo entre [0, 1], representado pela variável estado do enlace. Este valor pode ser utilizado para gerar os alarmes do agente DQMA-Fuzzy.

A função de pertinência de saída foi baseada na função triangular e é mostrada na Fig. 2(f), possuindo os termos linguísticos: normal, aceitável e não aceitável. No termo **Normal**, não há qualquer tipo de ação a ser aplicada na rede; o

**Aceitável** admite que existam falhas, mas não prejudica a aplicação, gerando um alarme alerta; enquanto o **Não aceitável** representa a imediata necessidade de fluxo de rajada ser remanejado para outro enlace, enviando o alarme problema.

O mapeamento do conjunto difuso da saída para valores reais, denominado de processo de defuzzificação, é realizado através do defuzzificador “Média Ponderada dos Máximos”, o qual produz um valor numérico considerando a média ponderada dos valores centrais ativados, sendo os pesos os graus de pertinência de cada variável linguística de saída.

IV. ANÁLISE DA PROPOSTA

A arquitetura proposta opera de maneira proativa para prever falhas nos enlaces ópticos avaliando informações de meio físico, temperatura e atenuação, e a probabilidade de bloqueio de rajadas de acordo com as classes, garantindo os níveis de QoS, através da solução *DQMA-Fuzzy*. Também proporciona o oferecimento de rotas determinísticas que reduzem as perdas. Esta arquitetura funciona como descrito a seguir.

No momento da submissão de uma tarefa (*job*), ela é encapsulada em uma rajada óptica e as informações referentes aos parâmetros de QoS, são codificadas no pacote de controle (BCP - *Burst Control Packet*). Porém, antes de a rajada ser enviada, uma consulta é feita ao servidor GOBS a fim de obter uma rota que satisfaça os requisitos da tarefa. A rota obtida é então repassada para o protocolo de sinalização. Após o tempo de ajuste, a rajada é enviada para o destino escolhido. Os nós de borda da rede OBS são responsáveis por solicitar as rotas para o servidor GOBS e os nós de núcleo encaminham as rajadas com base no caminho selecionado.

O agente *DQMA-Fuzzy* é responsável por coletar as informações de camada física e probabilidade de bloqueio dos nós OBS e repassá-las ao módulo *DQMA-Fuzzy* o qual pode prever situações de falhas e gerar alertas, solicitando novas rotas ao servidor GOBS, minimizando assim as perdas de rajadas ópticas.

A. Cenário Avaliado

Para avaliar o impacto da utilização desta arquitetura foram realizadas simulações computacionais através da utilização da ferramenta NS-2 [8].

No entanto, foi necessário desenvolver extensões, baseando-se nas utilizadas em [2] e adicionadas as seguintes modificações: um módulo *DQMA-Fuzzy*; um agente *DQMA-Fuzzy* que coleta informações e gera alarmes; e um módulo gerador de perturbação que fornece os valores de temperatura e atenuação, gerados a partir de observação de parâmetros reais. Como a variação destes valores é baseada em várias origens independentes atuando aditivamente, seu comportamento foi gerado no simulador através de uma distribuição Normal.

Este trabalho faz uso da topologia baseada no *backbone* da Internet 2 por conter vários caminhos possíveis para a engenharia de tráfego e por ser uma topologia real que é ilustrada na Fig. 3. Para a simulação foram considerados como nós de redes apenas os nós de comutação óptica que na Fig. 3 estão representados pelo roteador nas cidades em questão. Foi definido que o nó responsável por ser a origem das rajadas é o da cidade de *Washington*. Para as cidades de *Seattle*, *Salt Lake City*, *Los Angeles*, *Kansas*, *Chicago* e *Houston* foram criados dois nós de grade que foram os destinos das tarefas, sendo que em *Washington* foram criados três destes nós que são responsáveis por gerar o tráfego.

Os parâmetros utilizados na simulação são descritos a seguir. Os enlaces possuem capacidade de 10 Gbps e retardo de propagação de 1 milissegundo. As tarefas possuem tamanho médio de 1,5 megabytes distribuídos exponencialmente. A demanda de processamento de uma tarefa é uma fração do total disponível em um nó de simulação, também distribuída exponencialmente com uma média de 60% do total. O total de capacidade de processamento e armazenamento disponível em cada nó de computação é de 15 GFLOPS e 1 gigabyte respectivamente. O tempo de ajuste das rajadas é de 3 milissegundos. A chegada de rajadas segue um processo de Poisson [1].

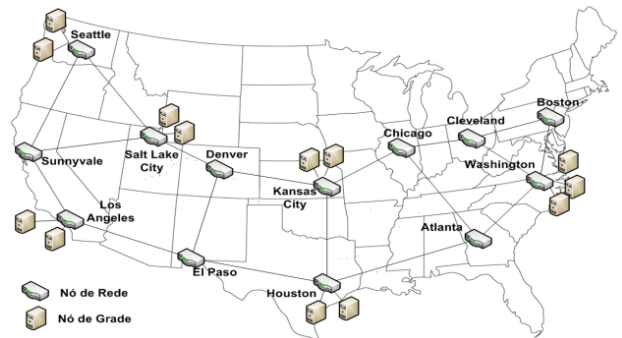


Fig. 3. Topologia Internet2.

Foi utilizado um número máximo de comprimentos de onda reservado para cada classe de serviço, distribuídos da seguinte forma: 5 comprimentos de onda para classe 0, 3 para classe 1 e 1 para classe 2.

B. Resultados obtidos

Todas as simulações foram conduzidas com 100 repetições cada uma e foi utilizado um intervalo de confiança de 95% em relação à média das amostras coletadas. Foram realizadas simulações utilizando o mecanismo com o agente *DQMA* [1] que apenas realizava a garantia de QoS e simulações com o mecanismo proposto neste trabalho com o agente *DQMA-Fuzzy* para a predição de falhas.

As análises são referentes aos valores experimentados pelos nós que recebem a maior parte das requisições, são eles: *Houston*, *Kansas* e *Los Angeles*. A carga na rede varia de 0 a 10 *erlangs*, sendo definida pelo produto entre o número de requisições feitas à rede e o tempo de duração de cada uma delas.

A primeira análise é referente à probabilidade de bloqueio para todas as classes de serviço no nó de *Houston*, que foi o nó de destino OBS mais utilizado usando o esquema de seleção de rotas.

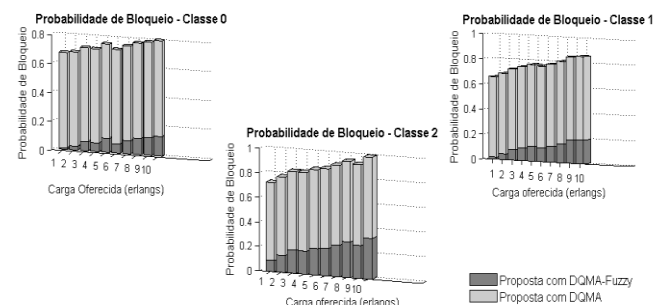


Fig. 4. Probabilidade de Bloqueio por Classe.

A Fig. 4 mostra a probabilidade de bloqueio das rajadas no nó de *Houston* por classes. Também mostra que o bloqueio

experimentado pelas classes é bastante similar e que a quantidade de bloqueios em um subconjunto específico de nós diminui, contribuindo, assim, para que os níveis de QoS da rede se mantenham por mais tempo dentro dos limites definidos. Isso implica na redução do número de consultas feitas ao GOBS. Os resultados ilustrados nos gráficos da Fig. 4, também mostram que de uma maneira geral a proposta DQMA-Fuzzy, consegue reduzir em mais de 50% as perdas de rajadas até mesmo em níveis altos de carga e com poucos recursos disponíveis por classe de serviço, neste caso comprimento de onda.

Já para os resultados relacionados à grade, foram selecionadas informações relacionadas as rajadas rejeitadas, onde são mostradas as requisições descartadas exclusivamente devido à ausência de recursos de computação (processamento e armazenamento) nos nós da grade; e a média de processamento, referente à utilização dos recursos de processamento nos nós de computação da grade, esses valores são apresentados nas Fig. 5 e Fig. 6, respectivamente.

O número de requisições descartadas no nó de *Kansas*, que é o destino padrão quando nenhum mecanismo de seleção de rotas é usado, obteve uma diminuição de 62% de rajadas rejeitadas. Isto significa que uma parte das rajadas que seriam normalmente destinadas a este nó não são encaminhadas para os outros nós de computação da grade, balanceando a carga de rajadas a outros membros da grade. Isso ocorreu devido a melhor distribuição e utilização dos recursos que não estão sendo utilizados, pois o DQMA-Fuzzy permite um melhor gerenciamento e utilização dos enlaces, aumentando a disponibilidade de caminhos disponíveis.

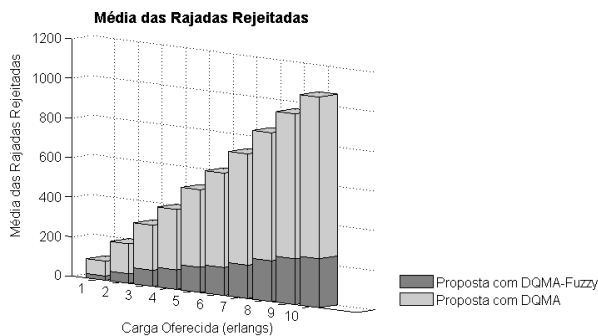


Fig. 5. Média das Rajadas Rejeitadas.

O gráfico da Fig. 6 apresenta o resultado da média de processamento, nele é possível perceber que a arquitetura proposta proporciona uma redução na carga de processamento no nó *Los Angeles*, nó o qual foi escolhido pelo fato de ter apresentado o ponto de maior utilização de processamento durante as simulações. Para o processamento, observa-se que o modo com o agente DQMA apresenta elevados níveis de processamento em pontos específicos da grade se comparado ao agente DQMA-Fuzzy. Isso implica que menos requisições conseguiram chegar aos outros nós de computação. Analisou-se que no modelo DQMA-Fuzzy ocorre um mais frequente balanceamento da carga de processamento entre nós de computação da grade. No nó analisado percebe-se uma redução média de 61% entre as cargas utilizadas na simulação.

Por fim, existe a necessidade de implementar os mecanismos propostos num protótipo (*testbed*) real, para validar a arquitetura proposta em uma rede de produção. Neste caso, a implementação seria centrada nas funcionalidades de controle e gerenciamento, devido aos altos custos associados às tecnologias envolvidas no contexto deste trabalho.

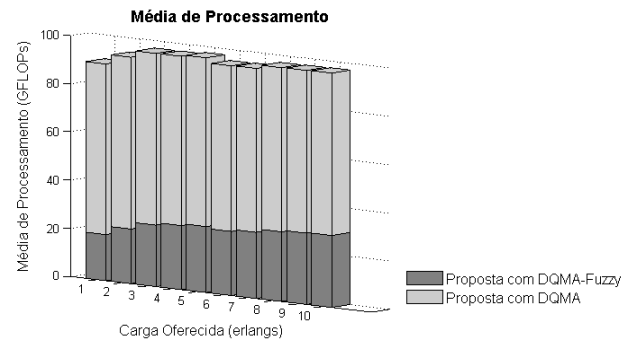


Fig. 6. Média de Processamento.

## V. CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS

Através dos resultados obtidos, observou-se que a proposta DQMA-Fuzzy ofereceu vantagens em relação ao DQMA. A lógica Fuzzy associada ao DQMA permitiu uma melhora na tomada de decisão em relação aos problemas que ocorrem em uma rede óptica e melhor utilização de recursos da ambiente de grade.

Neste artigo, foi utilizado um agente DQMA-Fuzzy e os resultados obtidos comprovam que esta proposta, quando utilizada na avaliação do estado do enlace óptico, provê tolerância a falhas, minimizando o número de perdas na rede. Também permite um melhor gerenciamento e utilização dos enlaces, o aumento da disponibilidade de caminhos disponíveis e um balanceamento da carga de processamento entre nós de computação da grade.

Os resultados apresentam uma redução satisfatória em todas as métricas analisadas, tais como: probabilidade de bloqueio, níveis de rajadas rejeitadas e o processamento da grade. O uso da proposta DQMA-Fuzzy, em geral, obteve uma diminuição de mais de 60% nas métricas analisadas.

Como trabalhos futuros, os agentes de gerenciamento dinâmico DQMA-Fuzzy podem ser expandidos para outras variáveis e espalhados pelos nós no núcleo OBS. Além disso, para realizar um melhor controle de admissão ou uma melhor distribuição das tarefas em grade, podem-se utilizar técnicas de inteligência computacional. Outros desafios estão no desenvolvimento de qualidade na transmissão ou no RWA-IA.

## REFERÊNCIAS

- [1] Esteves, Rafael Pereira; et al, "Uma Arquitetura para o Gerenciamento de Qualidade de Serviço em Redes Grid-OBS", Revista Brasileira de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos, v. 3, p. 35-49, ISSN: 1983-4217, 2010.
- [2] Farias, F. N. N. et al, "Gerenciamento Dinâmico de Qualidade de Serviço em Redes OBS Baseadas no GMPLS", 26 Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos, 2008.
- [3] Filho, Joaquim F. M. et al, "Applications of Computational Intelligence in Optical Networks". 13th International Conference on Transparent Optical Networks. Agosto 2011.
- [4] Hong, Xiaobin et al., "A Resilient OBS/GMPLS Network for Survival Optical Grids", Asia-Pacific Conference on Communications, 2009.
- [5] Jelinski, Jans et al, "Fuzzy-CAC Driven MPLS-TE Realization", IEEE High Performance Switching and Routing (HPSR), Spain, Jul, 2011.
- [6] Mannie E., "Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Architecture". RFC 3945. Outubro 2004.
- [7] Nejabati, Reza et al., "Grid Optical Burst Switched Networks (GOBS)". Open Grid Forum, Draft GFD.128, Abril 2008.
- [8] Ns-2. Network Simulator. <http://www.isi.edu/nsnam/ns>, Dezembro 2011.
- [9] Zedeth, L., "Fuzzy sets". Information and control, 8(3):0:338-353, 1965.