

# Análise do Impacto da Utilização de Variações do PSO no Algoritmo de Roteamento por Série de Potências em um Cenário de Rede Óptica Elástica

Jefferson John do Rêgo Leite, Igor Monteiro Abreu dos Santos, Helder Alves Pereira e  
Raul Camelo de Andrade Almeida-Júnior

**Resumo**— Neste artigo, objetiva-se analisar o desempenho do algoritmo de roteamento por série de potências, em termos de probabilidade de bloqueio de chamadas e número de iterações, em um cenário de rede óptica elástica, frente a duas variações do algoritmo de otimização bioinspirada utilizado em sua proposta original. Essa técnica se baseia em conceitos de inteligência artificial, em específico a estratégia de enxame de partículas, para otimização da função custo do algoritmo de roteamento.

**Palavras-Chave**— Algoritmo de Roteamento por Série de Potências, Enxame de Partículas, Rede Óptica Elástica, Simulação.

**Abstract**— In this article, we aim to analyze the performance of the power series routing algorithm, in terms of call blocking probability and number of iterations, in an elastic optical network scenario, considering two variations of one bioinspired optimization algorithm. This technique is based on artificial intelligence concepts, specifically the particle swarm optimization, to optimize the cost function of the routing algorithm.

**Keywords**— Elastic Optical Network, Particle Swarm Optimization, Power Series Routing Algorithm, Simulation.

## I. INTRODUÇÃO

O problema de se determinar a rota e a quantidade de recursos necessários para estabelecimento de uma chamada é conhecido em redes ópticas elásticas (EON – *Elastic Optical Network*) como roteamento e atribuição de espectro (RSA – *Routing and Spectrum Assignment*). Quando se adiciona o problema de selecionar o formato de modulação, esse problema passa a ser conhecido como RMLSA (*Routing, Modulation Level and Spectrum Assignment*). O problema de RSA é do tipo NP-Completo [1]. Dessa forma, são utilizadas heurísticas para determinar possíveis soluções para os problemas de RSA e RMLSA e, dentre as heurísticas, a do algoritmo de roteamento por série de potências (PSR – *Power Series Routing*) tem se mostrado bastante relevante na literatura de EONs [2]–[4].

Neste artigo, objetiva-se analisar o desempenho do PSR, em um cenário de rede óptica elástica, frente a variações no

Jefferson John do Rêgo Leite, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Centro de Engenharia Elétrica e Informática, Universidade Federal de Campina Grande; Igor Monteiro Abreu dos Santos e Helder Alves Pereira, Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica, Centro de Engenharia Elétrica e Informática, Universidade Federal de Campina Grande, Email: [helder.pereira@dee.ufcg.edu.br](mailto:helder.pereira@dee.ufcg.edu.br); Raul Camelo de Andrade Almeida-Júnior, Grupo de Fotônica, Departamento de Eletrônica e Sistemas, Universidade Federal de Pernambuco, Email: [raul.almeidajunior@ufpe.br](mailto:raul.almeidajunior@ufpe.br).

Os autores deste trabalho agradecem ao CNPq o apoio financeiro e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da UFCG, à UFCG e UFPE o apoio institucional.

algoritmo utilizado para otimização de sua respectiva função custo (PSO – *Particle Swarm Optimization*). Este artigo está organizado da seguinte forma: na Seção II, o PSR é descrito, além das variações do algoritmo PSO utilizadas neste artigo. Na Seção III, apresentam-se as configurações das simulações. Na Seção IV, os resultados são discutidos e, por fim, as conclusões são descritas na Seção V.

## II. ALGORITMO PSR E VARIAÇÕES DO PSO

O PSR foi proposto por Chaves *et al.* [5], [6] para redes ópticas WDM em 2008. Basicamente, baseia-se na execução de duas etapas: (1) planejamento (*offline*) e (2) operação (*online*). Na primeira, utiliza-se uma técnica de otimização bioinspirada para otimizar os coeficientes da função custo do enlace. Na segunda, com os coeficientes da função custo otimizados, utiliza-se o algoritmo de Dijkstra para realizar a tarefa de roteamento.

Em [2], Xavier *et al.* aplicaram o PSR com o propósito de fornecer  $k$  rotas para cada solicitação da rede e consideraram apenas o número de encaixes possíveis normalizado. Em [3], Cavalcante *et al.* propuseram duas modificações no PSR, utilizando duas dimensões, em que foram utilizadas a distância normalizada, a disponibilidade de *slots* normalizada e a contiguidade de *slots*, com base no número de encaixes possíveis [2]. Em [4], Cavalcante *et al.* analisaram o PSR considerando diversas dimensões e parâmetros. Em todos esses trabalhos [2]–[4], os cenários analisados envolveram EONs e a técnica de otimização bioinspirada original utilizada por Chaves *et al.* [5], [6].

Neste artigo, considera-se o PSR com duas dimensões: (1) distância normalizada e (2) número de encaixes possíveis. No entanto, são analisadas duas variações do PSO: (1) PSO adaptativo (APSO – *Adaptive Particle Swarm Optimization*) e (2) PSO fasorial (PPSO – *Phasor Particle Swarm Optimization*). O primeiro foi proposto por Zhan *et al.* [7]. Basicamente, os valores de  $c_1$  e  $c_2$  não são constantes. Calcula-se o fator de evolução para determinar em qual estágio evolucionário o enxame se encontra. A partir desse fator, os coeficientes são ajustados com base nos seguintes estágios [7]: (1) busca em amplitude; (2) busca em profundidade; (3) convergência e (4) escape. Caso o enxame esteja no estágio de convergência, a melhor partícula sofre uma perturbação. Caso essa nova partícula possua aptidão maior que a melhor partícula, ela passa a ser a melhor do enxame. Caso contrário, ela passa a ser a pior do enxame. A velocidade das partículas é incrementada

de acordo com duas variáveis ( $Eps_1$  e  $Eps_2$ ), ambas obtidas por meio de uma distribuição uniforme aleatória [7]. Já o PPSO, por outro lado, não necessita das constantes  $c_1$  e  $c_2$ , pois utiliza um fator fasorial ( $\theta$ ) para calcular a velocidade das partículas. Inicialmente, o valor de  $\theta$  é escolhido no intervalo  $(0, 2\pi)$  e as velocidades e posições variam de acordo com esse fator ao longo do processo iterativo [8].

### III. CONFIGURAÇÃO DAS SIMULAÇÕES

A arquitetura de nó utilizada baseia-se na de comutação espectral (*spectrum switching*) [9]. Os seguintes dispositivos estão presentes ao longo dos enlaces: (1) transmissor ótico; (2) dispositivo de comutação; (3) amplificador ótico de potência, (4) fibra ótica, (5) amplificadores óticos de linha, (6) pré-amplificador e (7) receptor ótico. Os ganhos dos amplificadores óticos foram modelados de modo a compensar exatamente as perdas do enlace e dos nós. O ruído de emissão espontânea amplificada foi modelado de acordo com Cavalcante *et al.* [3]. Os parâmetros utilizados nas simulações foram os seguintes: (1) frequência central da grade de 193,4 THz; (2) largura de banda de referência de 12,5 GHz; (3) largura de banda do *slot* de 12,5 GHz; (4) figura de ruído dos amplificadores óticos de 5 dB; (4) perda no dispositivo de comutação de 5 dB; (6) número de *slots* por enlace igual a 64; (7) relação sinal-ruído ótica de entrada de 30 dB; (8) potência ótica de entrada de 0 dBm; (9) distância entre amplificadores de linha igual a 70 km; (10) formatos de modulação de 4, 16 e 64-QAM; (11) taxas de transmissão de bit de 10, 40, 100, 160 e 400 Gbps; (12) número de chamadas simuladas igual a  $10^5$ ; (13) topologia NSFNet e (14) carga da rede igual a 150 Erlangs. Todas as simulações foram realizadas com o software de código aberto SimEON [9].

Para uma determinada solicitação de chamada, o algoritmo RMLSA realiza as seguintes etapas: (1) utiliza o algoritmo de roteamento em análise para retornar uma rota entre os nós fonte e destino; (2) atribui o formato de modulação mais eficiente em termos espectrais (64-QAM); (3) verifica se existem *slots* disponíveis e utiliza o algoritmo de atribuição de espectro de primeiro encaixe (*first-fit*); (4) a partir da rota e do conjunto de *slots* disponíveis conhecidos, avalia a QoT do sinal ótico no nó destino. Caso a QoT não seja satisfeita, tenta utilizar o próximo formato de modulação de maior eficiência espectral, até que o último seja o 4-QAM e retorna à etapa (3); (5) se, para algum formato de modulação, a QoT seja satisfeita no nó destino, porém não seja possível estabelecer um conjunto contínuo e contíguo de *slots*, a solicitação de chamada é bloqueada.

### IV. RESULTADOS

Fig. 1 ilustra a probabilidade de bloqueio em função da iteração, considerando: PSO, APSO e PPSO. Observa-se que, com o APSO, a melhor partícula foi obtida na iteração 290, resultando no menor valor da probabilidade de bloqueio da rede ( $PB \approx 9,54 \times 10^{-3}$ ). Para o PSO, tem-se 150 iterações e  $PB \approx 9,64 \times 10^{-3}$ , enquanto que, para o PPSO, tem-se 464 iterações e  $PB \approx 10,96 \times 10^{-3}$ . Em simulações realizadas de diagramas de caixa, considerando 500 simulações, observou-se que tanto o APSO quanto o PSO obtiveram valores de

probabilidade de bloqueio praticamente no mesmo intervalo de variação.

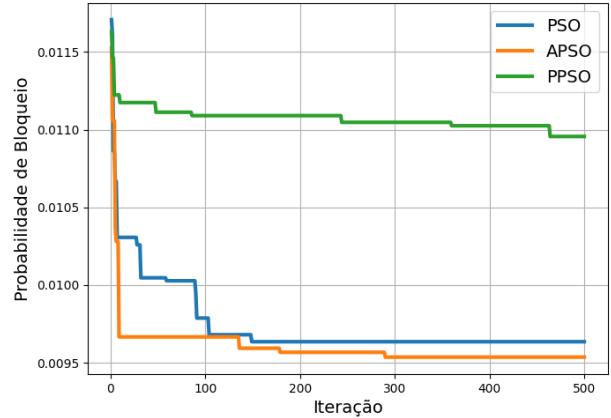


Fig. 1. Probabilidade de bloqueio em função da iteração, considerando: PSO, APSO e PPSO.

### V. CONCLUSÕES

Neste artigo, foi analisado o desempenho do PSR, em termos de probabilidade de bloqueio de chamadas e número de iterações, em um cenário de rede ótica elástica. Considerou-se o impacto de duas variações do algoritmo PSO (APSO e PPSO) com relação à proposta original utilizada por Chaves *et al.* (PSO) [5], [6]. Observou-se que o APSO obteve a melhor partícula dentre as duas técnicas de PSO comparadas, retornando-a em uma iteração maior que a obtida com o PSO. Em termos de análise estatística, tanto o APSO quanto o PSO obtiveram valores de probabilidade de bloqueio de chamadas praticamente no mesmo intervalo de variação. Como trabalhos futuros, pretende-se analisar outras variações do PSO e verificar o desempenho do PSR em diversas topologias e cenários de redes óticas elásticas.

### REFERÊNCIAS

- [1] S. Shirazipourazad *et al.*, “On routing and spectrum allocation in spectrum-sliced optical networks,” in *Proceedings INFOCOM*. IEEE, 2013, pp. 385–389.
- [2] A. V. S. Xavier *et al.*, “The nrpsr-elastic routing algorithm for flexible grid optical networks,” *SBMO-IEEE MTT-S International Microwave Optoelectronics Conference (IMOC)*, pp. 1–5, 2013.
- [3] M. A. Cavalcante *et al.*, “Applying power series routing algorithm in transparent elastic optical networks,” *SBMO/IEEE MTT-S International Microwave Optoelectronics Conference (IMOC)*, pp. 1–5, 2015.
- [4] ———, “Optimizing the cost function of power series routing algorithm for transparent elastic optical networks,” *Optical Switching and Networking*, vol. 29, pp. 57–64, 2018.
- [5] D. A. R. Chaves *et al.*, “Impairment aware routing algorithm for all-optical network based on power series and particle swarm optimization,” *XXV Simpósio Brasileiro de Telecomunicações (SBrT)*, 2008.
- [6] J. F. Martins-Filho *et al.*, “Intelligent and fast irwa algorithm based on power series and particle swarm optimization,” *International Conference on Transparent Optical Networks*, pp. 158–161, 2008.
- [7] Z.-H. Zhan *et al.*, “Adaptive particle swarm optimization,” *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, vol. 39, no. 6, pp. 1362–1381, 2009.
- [8] M. Ghasemi *et al.*, “Phasor particle swarm optimization: a simple and efficient variant of pso,” *Soft Computing*, vol. 23, no. 19, pp. 9701–9718, 2019.
- [9] M. A. Cavalcante *et al.*, “Simeon: an open-source elastic optical network simulator for academic and industrial purposes,” *Photonic Network Communications*, vol. 34, no. 2, pp. 193–201, 2017.