

Planejamento Eficiente de Redes de Acesso PON Utilizando Algoritmos Genéticos

Leonardo P. Dias, Alex F. Santos e Karcus D. R. Assis

Resumo—Este trabalho propõe uma ferramenta computacional para realizar o projeto de infraestrutura de redes ópticas de acesso PON (*Passive Optical Network*) de forma otimizada. São realizadas diversas simulações em que a ferramenta proposta (baseada em algoritmos genéticos) reduz custos quando comparada à projetos realizados de forma tradicional. Estudos em relação ao orçamento óptico de potência também são realizados e mostram que as soluções encontradas pela ferramenta estão acima do limiar de funcionamento, adequado para o sistema PON, evidenciando a eficiência da ferramenta.

Palavras-Chave—Redes Ópticas Passivas, Redes de Acesso, Algoritmos Genéticos.

Abstract—This work proposes a computational tool to realize the infrastructure design of PON optical access networks in an optimized way. We have shown several simulations in which the proposed tool (based on genetic algorithms) reduces costs when compared to projects carried out manually. Studies on the optical budget of power are also performed and show that the solutions found by the tool are above the operating threshold suitable for the PON system, evidencing the efficiency of the tool.

Keywords—Optical Passive Networks, Access Networks, Genetic Algorithms.

I. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a comunicação de dados têm-se tornado tão importante quanto serviços básicos, a exemplo do fornecimento de água e energia elétrica [1]. Desta maneira espera-se que as redes de comunicações tenham a mesma capilaridade que as redes elétricas e atendam, com qualidade, um vasto número de usuários. É importante salientar que a demanda por largura de banda exigida pelos usuários vem aumentando exponencialmente, devido a aplicações como televisão de alta definição, vídeo 3-D, computação em nuvem, jogos *online*, videoconferência, Internet das coisas (IoT – *Internet of Things*), além de outras [2]. Desta forma, as redes de telecomunicações necessitam de uma grande largura de banda para suportar essa nova demanda.

Atualmente, segundo a Comissão Federal de Comunicações [3], em uma residência comum, onde ocorra regularmente o uso simultâneo de até dois dispositivos com aplicações que demandem tráfego básico ou moderado (*e-mail*, *browsing*, vídeo, VoIP e pelo menos um *streaming* de vídeo HD ou uma aplicação de jogos *online*), é necessário um serviço que ofereça uma largura de banda de 12 a 25 Mbit/s. Diante deste cenário, todas essas demandas podem não ser atendidas de maneira satisfatória, caso não haja uma rede de acesso de qualidade disponível na região do assinante.

Conforme destacado em [4], as soluções de redes de acesso mais utilizadas atualmente, a xDSL (*Digital Line Subscriber*) e a *Cable Modem*, se tornarão, devido à limitação física para transferência de dados em cabos metálicos, insuficientes dentro de pouco tempo. Ao buscar soluções para este problema surge como alternativa a utilização de tecnologias baseadas em redes ópticas, para suprir a elevada demanda e alta qualidade exigida nas redes de acesso [5]. Segundo a Anatel [6], aproximadamente 80% das redes de acesso do Brasil ainda são baseados em cabos metálicos. No entanto, é destacado o crescimento da utilização da fibra óptica nas redes de acesso, cujo percentual é de aproximadamente 11%.

Diante das inúmeras tecnologias de redes ópticas, destacam-se as PON, redes passivas, ou seja, não necessitam de alimentação elétrica na rede de distribuição. Como vantagem, apresentam facilidade de instalação e atualização, baixo custo de operação, manutenção, confiabilidade, imunidade eletromagnética e cabos mais leves e compactos [7].

Um dos desafios das operadoras de telecomunicações é o planejamento de uma rede PON [8]. Devido às inúmeras possibilidades de posicionamento de divisores ópticos passivos ao longo da rede, razão de divisão, além da distribuição geográfica dos assinantes (e potenciais assinantes), é necessário que haja um estudo minucioso para a construção e execução do projeto. Para isto, é utilizado diversas técnicas de otimização, para cada nova rede de acesso, de forma que toda a infraestrutura seja disposta de maneira eficiente e atenda, com qualidade, toda a demanda, obtendo sempre o menor custo possível.

Na literatura já existem diversos trabalhos, como [9], [10], [11], a respeito da aplicação de algoritmos baseados em técnicas heurísticas e métodos exatos, por meio de Programação Inteira (PI), para elaboração de projetos de redes. No entanto, o intuito deste trabalho é elaborar uma nova ferramenta que permita a descrição do problema com um maior nível de detalhe e assim, seja capaz de aumentar, ainda mais, a eficiência do planejamento de redes PON para cada cenário apresentado.

Sendo assim, propõe-se um algoritmo para planejamento de redes PON baseado na utilização do algoritmo genético (AG). A partir de algumas informações básicas como: ruas e avenidas, localização da central (operadora) e localização dos clientes, busca-se desenvolver uma solução que seja capaz de gerar a topologia adequada para cada situação. Com isto, objetiva-se otimizar a utilização de cabos e equipamentos ópticos, além de reduzir consideravelmente o tempo gasto para elaborar a solução do problema. Deve-se destacar que, normalmente, nas pequenas e grandes operadoras, os projetos de redes PON são desenvolvidos por técnicos e engenheiros de

forma tradicional, demandando vários dias para sua conclusão, desperdiçando recursos que poderiam ser alocados para outras demandas.

II. TOPOLOGIAS ADOTADAS PARA SISTEMA PROPOSTO

Sistemas PON podem adotar topologias em barramento, anel, árvore, ou um misto das topologias anteriores. Esta definição ocorre na etapa de planejamento da rede. Cada topologia apresenta características distintas, sendo implementada conforme a situação e necessidade de cada projeto [12]. Desta maneira, a escolha adequada da topologia depende basicamente das premissas do projeto (como por exemplo necessidade de redundância), capilaridade de atendimento e de como os assinantes (e possíveis novos assinantes) estarão dispostos geograficamente.

Apesar das diversas topologias básicas de redes PON, normalmente os provedores de serviços telecomunicações utilizam a topologia em árvore. Isto deve-se a redução de custos e uma maior conectividade de clientes que estejam em uma determinada região. A maneira como os divisores ópticos vão estar dispostos na rede definirá se esta será uma topologia do tipo centralizada (com um único estágio de *splitters* na OSP - *Outside Plant*) ou uma topologia distribuída (com múltiplos estágios de *splitters* na OSP). Para este trabalho definiu-se as seguintes de topologias:

Topologia Centralizada - Tipo 1: Nesta topologia utiliza-se um único nível de *splitter* com fator de divisão de 1x64. Este *splitter* estará sempre disposto na ODN (*Optical Distribution Network*) em um armário de telecomunicações conhecido como FDH (*Fiber Distribution Hub*). Nesta topologia tem-se uma redução do número de dispositivos passivos na rede externa. Entretanto, há um aumento considerável na quantidade de cabos do tipo *drop* a serem utilizados. Para melhor entendimento, a Fig. 1 apresenta o diagrama físico da rede quando se utiliza a topologia centralizada do tipo 1. Nota-se que um cabo *feeder* com uma alta quantidade de fibras vai alimentando as FDHs que contém *splitters* de distribuição com fator de divisão de 1x64.

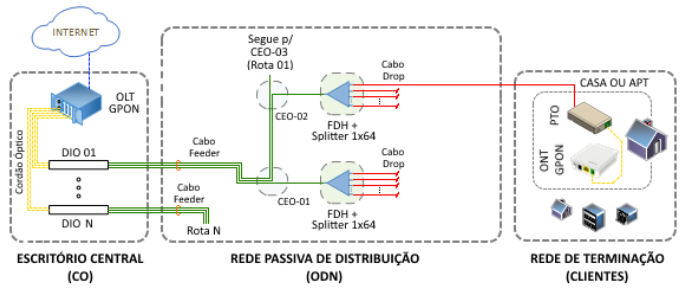


Fig. 1. Diagrama físico da rede que representa a topologia centralizada do tipo 1.

Topologia Centralizada - Tipo 2: Nesta topologia utiliza-se dois níveis de *splitters*, um com fator de divisão 1x2 (localizado sempre no CO) e outro com fator de divisão 1x32 disposto na ODN e armazenado em dispositivos do tipo FDH. Esta topologia é considerada do tipo centralizada, pois ainda há apenas um nível de *splitter* na rede externa. Em relação à topologia anterior há um aumento no número de FDH's na rede externa (devido à menor capacidade do *splitter* de atendimento) e uma maior utilização de fibras no cabo *feeder*. Entretanto, a tendência é que haja uma redução na quantidade de cabos do tipo *drop* utilizados no atendimento dos clientes. Para melhor entendimento, a Fig. 2 ilustra o diagrama físico da rede quando se utiliza a topologia centralizada do tipo 2.

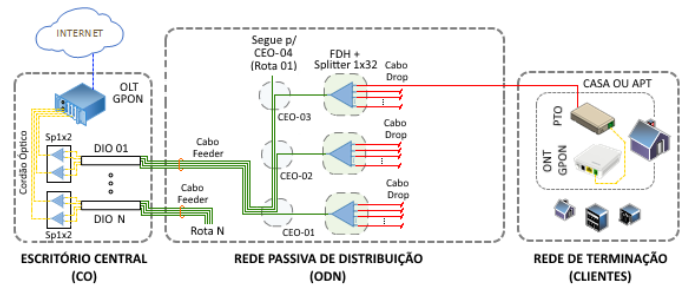


Fig. 2. Diagrama físico da rede que representa a topologia centralizada do tipo 2.

Topologia Distribuída - Tipo 1: Nesta topologia utilizam-se dois níveis de *splitters* na ODN. O primeiro nível é um *splitter* para distribuição com um fator de divisão de 1x4 armazenado em uma CEO (Caixa de Emendas Ópticas). O segundo nível é um *splitter* para atendimento com fator de divisão de 1x16 armazenado em FDH's. Em relação à topologia anterior, nota-se um aumento significativo de dispositivos ao longo da rede externa e uma menor utilização de fibras no cabo *feeder*. Entretanto, a tendência é que haja uma redução na quantidade de cabos do tipo *drop* utilizados no atendimento dos clientes. Para melhor entendimento a Fig. 3 apresenta o diagrama físico da rede quando se utiliza a topologia distribuída do tipo 1.

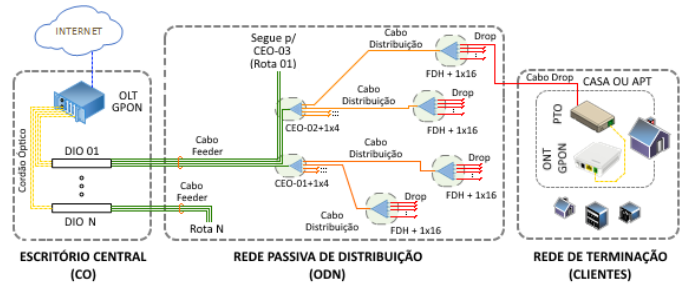


Fig. 3. Diagrama físico da rede que representa a topologia distribuída do tipo 1.

Topologia Distribuída - Tipo 2: Nesta topologia utiliza-se dois níveis de *splitters* na ODN. O primeiro possui um fator de divisão de 1x8 e é armazenado em CEO's e o segundo nível tem outros *splitters* 1x8 armazenados em FDH's. Entre as topologias consideradas neste trabalho, esta é a que apresenta maior número de dispositivos dispostos na ODN. Entretanto, tende a ser a topologia que apresenta menor quantidade de utilização de cabos do tipo *drop*. Para melhor entendimento a Fig. 4 apresenta o diagrama físico da rede quando se utiliza a topologia distribuída do tipo 2.

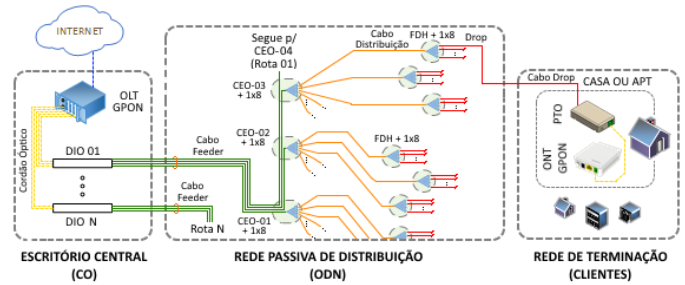


Fig. 4. Diagrama físico da rede que representa a topologia distribuída do tipo 2.

Deve-se ressaltar que neste trabalho, para elaboração do Algoritmo Genético, optou-se pelas características técnicas da tecnologia GPON (com fator de divisão máximo de 1x64 por porta PON). Entretanto, com alguns poucos ajustes no sistema pode-se definir os parâmetros de qualquer sistema PON, uma vez que só é preciso ajustar o fator máximo de divisão desejado

e algumas outras restrições (como os tipos de *splitters* a serem utilizados e alcance máximo da rede).

III. ALGORITMO PROPOSTO PARA OTIMIZAÇÃO DE REDES PON

As primeiras pesquisas sobre Algoritmos Genéticos (AG) foram desenvolvidas e apresentadas por John Holland, publicadas em [13]. Desde então, esses algoritmos vêm sendo aplicados com sucesso nos mais diversos problemas de otimização e aprendizado de máquinas, incluindo problemas de otimização de redes PON. Basicamente os AGs são métodos de otimização inspirados na evolução genética dos seres vivos e se baseiam em princípios descritos por Darwin [9].

O objetivo principal do algoritmo é encontrar os indivíduos que melhor se adaptam ao ambiente durante o processo de evolução. Os indivíduos mais adaptados vão se mantendo durante o processo enquanto os que não se adaptam são descartados.

A técnica de otimização utilizada pelo AG consiste na busca de uma solução ótima para o problema proposto (ou uma solução que seja mais próxima possível da ótima). Para se obter este resultado, várias soluções são testadas durante o processo de evolução. A cada geração, somente as melhores soluções são armazenadas, modificadas e novamente inseridas no sistema até que a solução desejada seja encontrada. Para que o processo de otimização seja viável, todas as soluções possíveis do problema devem se encontrar no espaço de busca a ser verificado pelo algoritmo, e uma função aptidão (*fitness*) deve estar definida para avaliar a qualidade de cada solução encontrada.

Inicialmente, quando um algoritmo genético é executado gera-se de forma aleatória N indivíduos (conjunto de cromossomos) e cada indivíduo representa uma possível solução para o problema. Como processo posterior do algoritmo, este conjunto de indivíduos (população) é analisado com a da função aptidão (ou função objetivo) e os indivíduos mais aptos são selecionados e os menos aptos são descartados. A partir deste ponto, os indivíduos selecionados sofrem modificações por meio dos operadores genéticos de cruzamento (*crossover*) e mutação (*mutation*). Repetem-se então para os novos indivíduos formados, os processos de avaliação (com a função aptidão), seleção e descarte. Este ciclo se repete até que uma solução adequada seja encontrada ou o número de interações (gerações), previamente definido, seja alcançado.

Uma das vantagens no uso de AGs é a simplicidade que permite a formulação do problema de otimização. Normalmente, utiliza-se como entrada de dados do algoritmo cadeias de *bits* de tamanho fixo, o que se adapta perfeitamente a problemas que envolvam grafos. Outra vantagem é o rápido tempo de convergência, em relação a algoritmos do tipo polinomial, para problemas que envolvem um grande número de variáveis. Apesar do AG ser um algoritmo que normalmente apresenta resultados robustos, por ser um método meta-heurístico, a solução pode convergir para um máximo local, apresentando uma falsa resposta ótima. Entretanto, esta convergência prematura pode ser minimizada com o ajuste adequado no número de gerações e tamanho da população.

Para o problema de otimização de redes de acesso PON, objeto de pesquisa deste trabalho, desenvolveu-se em Matlab® um sistema computacional baseado em AG que busca e

encontra uma solução adequada para o problema proposto. O fluxograma da Fig. 5 descreve o funcionamento do sistema.

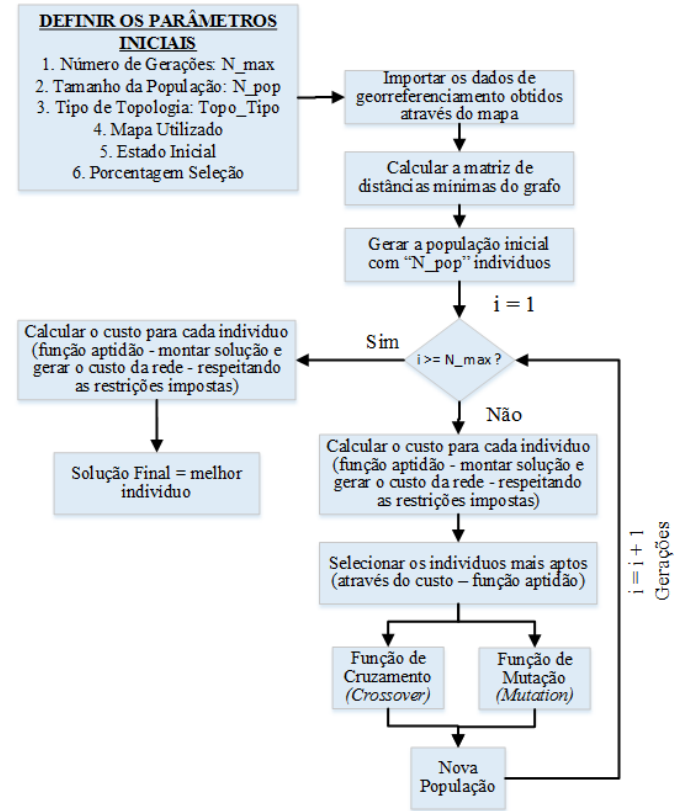


Fig. 5. Fluxograma do AG proposto para o problema de otimização de redes de acesso PON.

Conforme apresentado no Fluxograma, observa-se que o algoritmo pode ser representado pelas seguintes etapas:

Definir os parâmetros iniciais: Inicialmente devem ser definidos os parâmetros básicos para funcionamento do algoritmo proposto. Estes são: número de gerações, tamanho da população, tipo de topologia, mapa utilizado, estado inicial e porcentagem de seleção.

Importar os dados de georreferenciamento obtidos dos mapas: Nesta etapa é importado o mapa cartográfico e obtêm-se as matrizes de informações que serão utilizadas pelo sistema computacional proposto (matriz de coordenadas dos nós e matriz de adjacências com distâncias em metros).

Calcular a matriz de distâncias mínimas do grafo: Com os dados obtidos na etapa anterior, o algoritmo realiza o cálculo da matriz de distâncias mínimas do grafo, por de uma função que utiliza o algoritmo de *Floyd-Warshall*. A escolha deste algoritmo se dá devido ao bom desempenho e a simplicidade encontrada na sua implementação. A matriz de distâncias mínimas gerada será de tamanho $N \times N$ (em que N é a dimensão do grafo) e conterá as distâncias mínimas (em metros) entre todos os pontos do grafo.

Gerar a população inicial com N_{pop} indivíduos: Para esta etapa foi desenvolvida uma função que gera aleatoriamente o conjunto de indivíduos que irão pertencer à população inicial. Cada indivíduo representa a maneira como os *splitters* estarão dispostos na rede, ou seja, cada indivíduo representa uma possível solução do problema.

Calcular o custo para cada indivíduo (função aptidão): Com os indivíduos gerados na etapa anterior, e as informações obtidas do mapa, monta-se a rede para cada indivíduo

(respeitando as restrições impostas) e gera-se o custo total para cada indivíduo. O custo total da rede é representado pelo somatório de todos os materiais e serviços envolvidos na construção da solução da rede. Nesta etapa é também calculado o orçamento de potência óptica para cada indivíduo.

Selecionar os indivíduos mais aptos: Nesta etapa organizam-se em ordem crescente os indivíduos de acordo com cada valor obtido na função aptidão (custo total da rede). Os melhores indivíduos serão armazenados e participarão das etapas de cruzamento e mutação. Os demais indivíduos serão descartados.

Função de cruzamento e Função de mutação: Aplicam-se os operadores genéticos para os indivíduos selecionados na etapa anterior. A função de cruzamento combina aleatoriamente características (cromossomos) de dois indivíduos sorteados (dentre os selecionados). A função de mutação altera arbitrariamente uma ou mais características (cromossomos) do indivíduo selecionado.

Nova população: Nesta etapa será armazenada a nova população que será formada por: melhores indivíduos selecionados na etapa anterior (com o objetivo de manter os mais aptos em caso de piora das soluções) e os indivíduos oriundos dos operadores genéticos de cruzamento e mutação.

Após a obtenção da nova população, o sistema computacional realiza N interações (repetindo os passos anteriores) até que o valor predefinido para as gerações seja alcançado. Quando este valor atinge o N_{max} , o algoritmo calcula novamente o custo da rede para a população do estado atual e o melhor indivíduo é considerado como a solução final para o problema proposto.

IV. RESULTADOS

O cenário escolhido para essa simulação foi a região da Pituba, um bairro localizado na zona sul da cidade de Salvador, Bahia. A região de interesse possui aproximadamente 1,85 Km² de área. Esta escolha dar-se pelo tamanho relativamente grande do bairro.

As definições das características iniciais do algoritmo, para esta simulação, estão descritas na Tabela I. Deve-se ressaltar que a distribuição dos clientes no grafo foi realizada de maneira aleatória, sendo a incidência de nós com dois clientes predominante no estado inicial. Como média geral obteve-se um índice de aproximadamente 88 clientes por Km². As simulações foram realizadas em um computador Intel® Core i5 1.8GHz, com 8GB de memória RAM.

TABELA I. CARACTERÍSTICAS INICIAIS DA REDE

Características	Valores
População Inicial (indivíduos)	125
Número de Gerações (iterações)	750
Porcentagem de Seleção	0,4
Reserva p/ futuros clientes (%)	0,125
Número de nós da rede	314
Número total de clientes atendidos	164
Número de nós com 2 clientes (verde)	52
Número de nós com 4 clientes (amarelo)	8
Número de nós com 7 clientes (vermelho)	4
Área do mapa (km ²)	1,85
Clientes / km ²	~88

A Fig. 6 ilustra o estado inicial da rede. Esta, será utilizada para encontrar uma solução para cada uma das quatro

topologias consideradas neste trabalho. O número de gerações foi definido, empiricamente, em 750. Observou-se que não há grandes alterações no resultado do custo total da rede para valores superiores. Na Fig. 7 são ilustradas as soluções encontradas para cada topologia de rede. Na Fig. 8 é descrito a evolução do custo total da rede para cada topologia. Na Fig. 9 estão representados os gráficos do orçamento de potência óptica (link budget). Cada barra representa a potência óptica no sentido *upstream* de cada enlace entre o CO e os *splitters* de atendimento. Na Tabela II encontra-se a comparação das principais informações geradas pelo algoritmo genético para cada topologia de rede utilizada. É importante ressaltar que, nos mapas gerados pelo AG, a identificação de cada nó foi ocultada para facilitar a visualização dos resultados gerados (em função da escala reduzida).

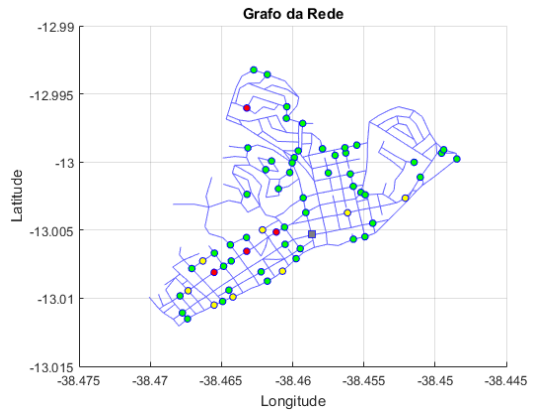


Fig. 6. Estado inicial da rede (com 314 nós).

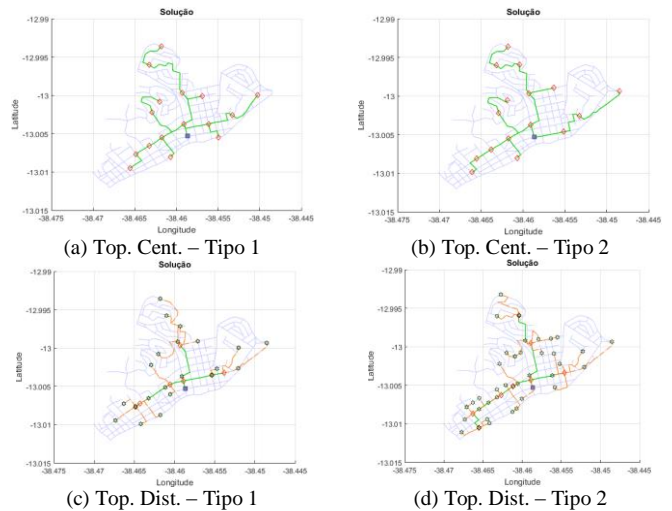


Fig. 7. Soluções do AG.

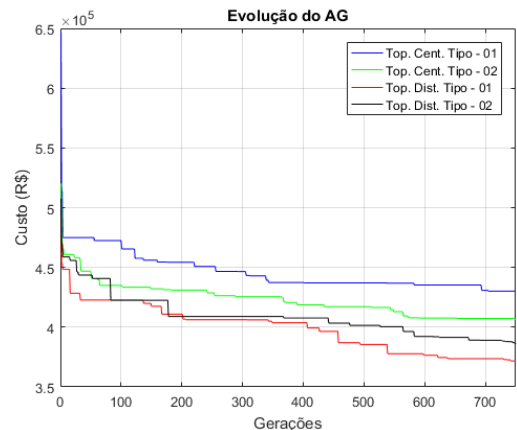


Fig. 8. Evolução do AG para cada Topologia.

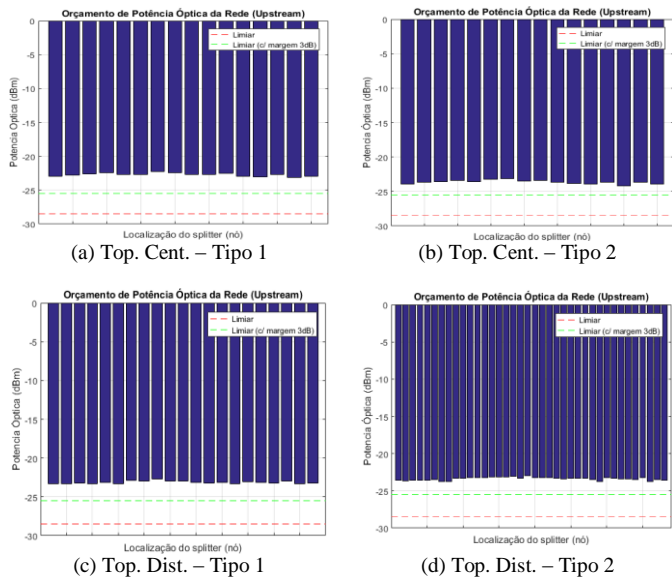


Fig. 9. Orçamento de Potência (Link Budget)

TABELA II. COMPARAÇÃO ENTRE AS TOPOLOGIAS PARA O MESMO ESTADO INICIAL

ITEM	TOP. CENT. TIPO 01	TOP. CENT. TIPO 02	TOP. DIST. TIPO 01	TOP. DIST. TIPO 02
Tempo de execução total	1.508,29 s	1.891,02 s	1.627,66 s	2.017,34 s
Qtd. de cabo óptico 02FO (drop cable)	26.978 m	26.459 m	21.653 m	12.782 m
Qtd. de cabo óptico 12FO (distrib. cable)	0 m	0 m	6.784 m	11.094 m
Qtd de cabo óptico 48FO (feeder cable)	6.577 m	6.645 m	2.053 m	2.986 m
Qtd. de cabo óptico 144FO (feeder cable)	0 m	0 m	0 m	0 m
Qtd. total de cabos ópticos	33.555 m	33.104 m	30.490 m	26.862 m
Qtd. total de splitters de 1º nível	16 und	8 und	8 und	8 und
Qtd. total de splitters de 2º nível	-	16 und	21 und	38 und
Qtd. total de caixas de CEO's	16 und	16 und	7 und	8 und
Qtd. total de portas PON utilizadas	16 und	8 und	8 und	8 und
Custo total da rede	R\$ 430.122,88	R\$ 406.639,48	R\$ 371.720,02	R\$ 385.718,94
Aumento de custo (%)	13,58 %	8,59 %	-	3,63 %

V. CONCLUSÕES

A partir dos resultados apresentados para o cenário proposto, pode-se concluir que a topologia adotada em cada projeto influencia diretamente no custo total de implantação da rede. A topologia distribuída do tipo 1 apresentou o menor custo de implantação seguido, de perto, pela topologia distribuída do tipo 2. Este fato se justifica, devido à maior quantidade de splitters (de atendimento) utilizados na rede, diminuindo a quantidade dos cabos de última milha (elemento que sozinho representa uma considerável parte do custo total

de implantação). Entretanto, splitters de grande capacidade possuem um custo elevado e precisam de uma grande concentração de clientes para que seu custo seja diluído entre eles. Portanto, a tendência é que, em cenários com poucos clientes, splitters de atendimento com capacidades menores possuam custos relacionados menores, o que torna as soluções distribuídas mais adaptadas à estas situações. Nota-se então que existe uma clara relação entre disposição de clientes, splitters, portas utilizadas e cabos. Quanto ao orçamento óptico de potência todas as soluções encontradas estão acima do limiar de funcionamento adequado para o sistema GPON proposto.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsas de estudos e subsídios para apoiar o projeto e pelo apoio educacional da Universidade Federal da Bahia (UFBA).

REFERÊNCIAS

- [1] M. J. Barth. “Otimização multi-nível para projeto de redes híbridas (ópticas e sem fio) para implementação de cidades inteligentes”. Dissertação de Mestrado - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 2016.
- [2] Cisco Systems, “The Zettabyte Era: Trends and Analysis”, disponível <http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/serviceprovider/visual-networking-index-vni/vni-hyperconnectivity-wp.pdf>, Junho, 2017.
- [3] FCC, “Household Broadband Guide,” FCE - Federal Communications Commission, 2017. Disponível: <https://www.fcc.gov/researchreports/guides/household-broadband-guide>. Acesso em Abril 2018.
- [4] G. E. V. Silva, “Estudo de topologias para redes WDM-PON,”. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.
- [5] T. Muciaccia, F. Gargano e V. Passaro. “Passive optical access networks: state of the art and future evolution”. Photonics, v. 1, n. 4, p. 323-346, 2014.
- [6] Anatel. “Brasil encerrou fevereiro de 2018 com 29,25 milhões de acessos em serviço na banda larga fixa”. Disponível em: <http://www.anatel.gov.br/dados/destaque-1/269-bl-acessos>.
- [7] Lam, C. F. “Passive optical networks: principles and practice”. Elsevier, 2011.
- [8] M. Zotkiewicz, M. Mycek e A. Tomaszewski. “Profitable areas in largescale FTTH network optimization”. Telecommunication Systems, v. 61, n. 3, p. 591-608, 2016.
- [9] T. V. Villalba, et al., “Design of passive optical networks using genetic algorithm”. IEEE International Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC), p. 682-686, 2009.
- [10] A. Chu, K. F. Poon e A. Ouali. “Using Ant Colony Optimization to design GPON-FTTH networks with aggregating equipment”. IEEE Symposium on Computational Intelligence for Communication Systems and Networks (CICOMMS), p. 10-17, 2013.
- [11] F. C. d. L. Pereira, “Proposta de um Método Para Otimização e Dimensionamento de Redes GPON”. Dissertação de mestrado, Universidade Católica do Paraná, 2013.
- [12] ITU-T:G.671, “Recommendation G.671: Transmission characteristics of optical components and subsystems”, 2012.
- [13] J. H. Holland. “Genetic algorithms”. Scientific american, v. 267, n. 1, p. 66-73, 1992.