

UNIVERSIDADE CANDIDO MENDES - UCAM  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PESQUISA OPERACIONAL E  
INTELIGÊNCIA COMPUTACIONAL  
CURSO DE MESTRADO EM PESQUISA OPERACIONAL E INTELIGÊNCIA  
COMPUTACIONAL

Fernando Ulliam Caldas

APLICAÇÃO DE ALGORITMO GENÉTICO PARA LOCALIZAÇÃO DE  
RACK DE REDE NUMA INSTALAÇÃO DE CABEAMENTO  
ESTRUTURADO EM UMA INSTITUIÇÃO DE ENSINO

CAMPOS DOS GOYTACAZES/RJ  
Dezembro de 2013

UNIVERSIDADE CANDIDO MENDES - UCAM  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PESQUISA OPERACIONAL E  
INTELIGÊNCIA COMPUTACIONAL  
CURSO DE MESTRADO EM PESQUISA OPERACIONAL E INTELIGÊNCIA  
COMPUTACIONAL

Fernando Ulliam Caldas

APLICAÇÃO DE ALGORITMO GENÉTICO PARA LOCALIZAÇÃO DE  
RACK DE REDE NUMA INSTALAÇÃO DE CABEAMENTO  
ESTRUTURADO EM UMA INSTITUIÇÃO DE ENSINO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Pesquisa Operacional e Inteligência Computacional da Universidade Candido Mendes – Campos /RJ, para obtenção do grau de MESTRE EM PESQUISA OPERACIONAL E INTELIGÊNCIA COMPUTACIONAL.

Orientador: Prof. Ítalo de Oliveira Matias D.Sc.

Co-orientador: Prof. Dalessandro Soares Vianna D.Sc.

CAMPOS DOS GOYTACAZES/RJ  
Dezembro de 2013

FERNANDO ULLIAM CALDAS

APLICAÇÃO DE ALGORITMO GENÉTICO PARA LOCALIZAÇÃO DE  
RACK DE REDE NUMA INSTALAÇÃO DE CABEAMENTO  
ESTRUTURADO EM UMA INSTITUIÇÃO DE ENSINO

Dissertação apresentada ao Programa de  
Pós-Graduação em Pesquisa Operacional  
e Inteligência Computacional da  
Universidade Candido Mendes – Campos  
/RJ, para obtenção do grau de MESTRE  
EM PESQUISA OPERACIONAL E  
INTELIÊNCIA COMPUTACIONAL.

Avaliada em \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Ítalo de Oliveira Matias, D.Sc. - orientador  
Universidade Candido Mendes

---

Prof. Dalessandro Soares Vianna, D.Sc. – co-orientador  
Universidade Federal Fluminense

---

Prof. Eduardo Shimoda, D.Sc.  
Universidade Candido Mendes

---

Prof. Angelus Giuseppe Pereira da Silva, D.Sc.  
Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro

CAMPOS DOS GOYTACAZES, RJ  
Dezembro de 2013

Dedico este trabalho a minha esposa, a  
minha filha e *in memoriam* aos meus pais.

## AGRADECIMENTOS

À Deus, a minha família e aos grandes amigos do mestrado pelo apoio incondicional em todos os momentos na realização desse sonho.

“Nossas dúvidas são traidoras e nos fazem perder o que, com frequência, poderíamos ganhar, por simples medo de arriscar”.

William Shakespeare

## RESUMO

### APLICAÇÃO DE ALGORITMO GENÉTICO PARA LOCALIZAÇÃO DE RACK DE REDE NUMA INSTALAÇÃO DE CABEAMENTO ESTRUTURADO EM UMA INSTITUIÇÃO DE ENSINO.

O objetivo deste trabalho é localizar a posição dos *racks* de rede em uma edificação a fim de minimizar o custo da instalação de rede local de computadores. Como estudo de caso aplicou-se a solução a uma instalação de rede de um conjunto de laboratórios que possuem computadores em uma instituição de ensino. A localização de *racks* de rede em uma edificação se equivale a um problema de localização de facilidades e é tratado como um problema das p-medianas, podendo ser resolvido com o uso de algoritmo genético (AG). Após aplicar o AG convencional, aplicou-se o AG com elitismo, minimizando o problema de instabilidade. Obteve-se um melhor resultado com menor número de iterações. A configuração da instalação de rede obtida pelo AG foi satisfatória, em função de gerar uma redução de custo de 22,8% em relação à disposição ao qual a instituição pretende instalar.

**PALAVRAS-CHAVE:** Problema das p-medianas, Algoritmo Genético, Cabeamento Estruturado; Localização.

## ABSTRACT

### APPLICATION OF GENETIC ALGORITHM TO SOLVE PROBLEMS FINDING NETWORK RACK IN A STRUCTURED CABLING INSTALLATION IN AN EDUCATIONAL INSTITUTION.

The objective of this work is to locate the position of the racks network in a building in order to minimize the cost of installation of local area computer network. As a case study, we applied the solution to a network installation of a set of labs that have computers in an educational institution. The location of racks network in a building is equivalent to a facility location problem and is treated as a p-median problem. It can be solved by applying genetic algorithm (GA). After applying the traditional AG it was applied GA with elitism, minimizing the problem of instability. There was obtained a better result with fewer iterations. The configuration of the network installation obtained by AG was satisfactory, generating a cost reduction of 22.8% in relation to which the institution wants to install.

**KEYWORDS:** P-Median Problem; Genetic Algorithm; Structured Cabling; Localization.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Os 6 subsistemas do Cabeamento Estruturado.....	17
Figura 2. Rack de Telecomunicação.....	18
Figura 3. Cabo UTP.....	18
Figura 4. Cabo F/UTP.....	18
Figura 5. Cabo S/FTP.....	19
Figura 6. Fibra Óptica de 2 fibras para redes LAN.....	19
Figura 7. Equipamento distribuidor de rede – Switch.....	20
Figura 8. Patch Panel.....	20
Figura 9. Tomada Fêmea RJ 45.....	22
Figura 10. Barra de Tomadas.....	22
Figura 11. Organizador de Cabos.....	23
Figura 12. Patch Cord ou Line Cord.....	23
Figura 13. Topologia BUS.....	24
Figura 14. Topologia Anel.....	25
Figura 15. Topologia Estrela.....	25
Figura 16. Topologia em Árvore.....	26
Figura 17. Representação do Exemplo em Grafo.....	29
Figura 18. Estrutura de um evolution program (HOLLAND, 1975).....	31
Figura 19. Representação de um cromossomo.....	31
Figura 20. Operação de cruzamento.....	33
Figura 21. Operação de mutação.....	34
Figura 22. Problema de Localização de Racks.....	39
Figura 23. Planta baixa com a localização das salas contendo os computadores e os pontos de saída.....	43
Figura 24. Planta Geral da Instituição de Ensino.....	43
Figura 25. Cromossomo correspondente a uma solução de instalação de rede.....	45
Figura 26. Fluxograma do modelo proposto. Fonte o próprio autor.....	45
Figura 27. Crossover de 1 corte.....	46
Figura 28. Mutação de 1 gene.....	47
Figura 29. Nuvem de pontos do AG convencional.....	48
Figura 30. Evolução do resultado do AG convencional.....	49
Figura 31. Nuvem de pontos do AG com elitismo.....	49
Figura 32. Evolução do resultado para o AG com elitismo.....	50
Figura 33. Cromossomo com o valor do fitness correspondente.....	50
Figura 34. Cromossomo com o valor do fitness correspondente.....	50
Figura 35. Nuvem de pontos aplicando o AG convencional.....	51
Figura 36. Nuvem de pontos aplicando o AG com elitismo.....	51
Figura 37. Evolução da média de 30 sementes do melhor indivíduo com elitismo e sem elitismo, de uma população de 40 indivíduos ao longo de 634 interações.....	52
Figura 38. Cromossomo que representou o melhor resultado para o teste.....	53
Figura 39. Planta indicando as salas atendidas pelos racks correspondentes ao cromossomo que apresentou o melhor resultado.....	53
Figura 40. Representação cromossômica que corresponde a 1 rack em cada sala.....	54
Tabela 1. Distâncias entre as saídas das salas.....	44
Tabela 2. Custo individual dos componentes que interferem no custo (Valores referentes a 10/2013).....	47

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AG - Algoritmo Genético  
ANSI - *American National Standards Institute*  
CFTV - Circuito Fechado de Televisão  
EP - *Evolution Program*  
F/UTP - *Foiled / Unshielded Twisted Pair*  
IDE - *Integrated Development Environment*  
IEC - *International Electrotechnical Commission*  
ISO - *International Organization for Standardization*  
LAN - *Local Area Network*  
MAN - *Metropolitan Area Network*  
NBR - Norma Brasileira  
OG - Operador Genético  
PCC - Problema de Carregamento de Container  
PPM - Problema das P-Medianas  
PPMC - Problema das P- Medianas Capacitado  
PRV - Problema de Roteamento de Veículos  
S/FTP - *Screened / Foiled Twisted Pair*  
TIA - *Telecommunications Industries Association*  
TIC - Tecnologia da Informação e Comunicação  
UTP - *Unshielded Twisted Pair*  
WAN - *Wide Area Network*

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b>	12
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	12
<b>2 OBJETIVOS</b>	14
2.1 OBJETIVO GERAL	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
<b>3 REVISÃO DE LITERATURA</b>	15
3.1 CABEAMENTO ESTRUTURADO	16
<b>3.1.1 Definição de cabeamento estruturado</b>	16
3.1.1.1 Cabeamento horizontal	18
3.1.1.2 Cabeamento <i>backbone</i>	19
3.1.1.3 Área de trabalho	19
3.1.1.4 Salas de telecomunicações	19
3.1.1.5 Salas de equipamentos	20
3.1.1.6 Entrada do edifício	21
3.2 REDES DE COMPUTADORES	21
<b>3.2.1 Classificação das redes quanto a abrangência</b>	21
3.2.1.1 Redes LAN	21
3.2.1.2 Redes MAN	23
3.2.1.3 Redes WAN	24
3.2.2 Topologia física de rede	24
3.2.3 Topologia lógica	26
3.3 NORMAS PARA O SISTEMA DE CABEAMENTO	26
3.4 O PROBLEMA DAS P-MEDIANAS	28
<b>3.4.1 Exemplo de aplicação do PPM</b>	29
3.5 ALGORITMOS GENÉTICOS	30
<b>3.5.1 Indivíduos</b>	31
<b>3.5.2 População</b>	32
<b>3.5.3 Operadores Genéticos</b>	32
3.5.3.1 Operador Genético de Reprodução	32
3.5.3.2 Operador Genético de Cruzamento	33
3.5.3.3 Operador Genético de Mutação	33
3.5.4 Funcionamento Básico de um AG	34
3.5.5 Uso do algoritmo genético para a solução o PPM	35
<b>4 METODOLOGIA</b>	39
4.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	39
4.1.1 Modelagem matemática	40
4.1.1.1 Parâmetros	40
4.1.1.2 Índices	40
4.1.1.3 Variáveis de decisão	40
4.1.1.4 Modelo	41
4.2 EXPERIMENTO	42
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	48
<b>6 CONCLUSÃO</b>	555
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	56

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Desde o final do século 20, observava-se a tecnologia da informação presente em todas as áreas. No entanto, não há preparação acadêmica dissociada dos conceitos da tecnologia da informação e comunicação (TIC), visto que o mundo do trabalho requer profissionais qualificados e conhecedores dos paradigmas do terceiro milênio (CASTELLS, 1999).

As instituições de ensino investem em estruturas tecnológicas para atender as demandas de um mundo globalizado, onde a TIC tem sido alvo de constante necessidade de atualização infraestrutural. Neste contexto, a comunicação de dados pode ser vista como uma das áreas onde as novas tecnologias têm uma enorme influencia. Desta forma, as redes de computadores estão em plena evolução haja vista a necessidade da conectividade interposta por adventos como a Internet (CASTELLS, 1999).

As primeiras redes de dados se limitavam a trocar informações baseadas em caracteres entre sistemas de computadores conectados. As redes atuais desenvolveram-se a ponto de transferir fluxos de voz, vídeo, texto e gráficos entre diferentes tipos de dispositivos. Formas de comunicação, previamente separadas e distintas, convergiram em uma plataforma comum que fornece acesso a uma grande variedade de novos e alternativos métodos de comunicação e que possibilitam as pessoas interagirem diretamente entre si quase instantaneamente. Inovações nos meios físicos continuam aumentando o alcance de nossas comunicações. Em função da grande demanda no uso dos sistemas de transmissão de dados, o

aumento na velocidade das comunicações vem sendo buscado dia após dia (COMER, 2007).

A instituição em estudo está reformulando toda a sua instalação de rede de computadores, visando aperfeiçoar os sistemas de cabeamento e equipamentos distribuidores (*switches*) a fim de melhorar o gerenciamento, administração e manutenção da rede, viabilizando o aumento do número de pontos de redes, em função do aumento da demanda de laboratórios e dos setores administrativos da mesma.

Atualmente, a instituição possui aproximadamente 33.500 m<sup>2</sup> de área construída, possuindo cerca de 2.000 equipamentos de rede na área de trabalho, pretendendo instalar 4.000 pontos de telecomunicações, pontos de lógica e telefonia IP. A rede está em fase de aperfeiçoamento, onde está sendo instalado um *backbone* (cabeamento que interliga os equipamentos de distribuição de rede (*switches*)) em fibra óptica no campus. O posicionamento dos equipamentos distribuidores na edificação interfere diretamente no comprimento de cabos que interligam os equipamentos de rede, e também na quantidade de pontos que os *switches* devem atender, alterando o custo da instalação.

O problema de localização de distribuidores de rede pertence a classe de problemas NP-Difíceis (GAREY; JOHNSON, 1979; ZIVIANI, 2004). No entanto, quando forem utilizados algoritmos exatos, devem-se utilizar métodos enumerativos para a determinação de solução ótima para o problema, que exigem grande esforço computacional e podem ser impraticáveis para problemas de grandes dimensões. Diversas propostas usando heurísticas têm sido consideradas, tais como: Simulated Annealing (ABDINNOUR-HELM; VENKATARAMANAN, 1993), Busca Tabu (KLINCEWICZ, 1991), Redes Neurais Artificiais (SMITH; KRISHNAMOORTHY; PALANISWAMI, 1996) e Algoritmos Genéticos (ABDINNOUR, 1998; TOPCUOGLU *et al*, 2005; CUNHA; SILVA, 2007).

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo localizar a posição dos *racks* de equipamentos a fim de otimizar o custo de uma instalação de cabeamento estruturado em uma instituição de ensino. Para isto, será utilizada a Metaheurística de Algoritmo Genético.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comparar a solução do AG com elitismo com a solução do AG convencional;
- Comparar a solução deste trabalho com o sistema de rede de computadores atualmente instalado;

#### 2.2.1 JUSTIFICATIVA

Em razão da instituição estar em fase de alterar e ampliar as suas instalações de rede de computadores, este trabalho vem a orientar o gerente de infraestrutura com relação ao posicionamento, quantitativo do material e equipamentos envolvidos no projeto, orientando-o a tomar a decisão mais econômica.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

A utilização das redes de computadores cabeadas fornece velocidade de comunicação (*throughput*) bem superior que outros métodos, o que as torna melhores para *downloads* e *streaming* de vídeo. As velocidades de *download* e *upload* são muito próximas dos limites máximos. Os sistemas cabeados possibilitam configurar individualmente o acesso dos equipamentos (*Hosts*) à rede. Com a utilização de equipamentos distribuidores de rede (*Switches*) gerenciáveis, pode-se configurar as suas portas de comunicação, determinando o *throughput*, dando prioridade relacionada ao tipo de pacote da aplicação de dados e criação de redes virtuais (*VLans*). No caso em estudo, os equipamentos de finais de rede são fixos, onde, pela quantidade a ser instalada, a opção pelo sistema cabeado, fornece uma performance de transmissão de dados bem superior em relação a outros sistemas de comunicação, como por exemplo o sistema de transmissão sem fio (*wireless*).

O sistema *wireless* divide a banda em função dos equipamentos a ele conectados, sendo uma opção para equipamentos móveis quando utilizados em acessos que não demandem altas velocidades de transmissão, como no caso o da Internet. Além de possuírem velocidades lentas, as redes sem fio comprometem a segurança dos computadores. Apesar de contarem com chaves de segurança, conexões *wireless* não são à prova de invasões (CARRIÓN, 2005).

As conexões *wireless* operam através de ondas de radio frequência que são programadas para ultrapassar obstáculos, porém, a potência do sinal de uma rede *wireless* é muito fraca, o que acaba reduzindo a qualidade da conexão. Além disso, existem problemas quanto à transmissão. As conexões sem fio trabalham com sinal digital, um método compatível com a linguagem dos computadores, mas péssimo para a transmissão de dados. Basicamente, muitos pacotes de dados acabam se

perdendo no caminho, o que resulta na queda de velocidade e na repetição desnecessária de informação. Outros fatores influenciam diretamente na velocidade e qualidade. Pequenos atrasos aparecem durante a conversão de dados para ondas de radio frequência.

A interferência de outros eletrônicos também é um problema que gera redução na qualidade da conexão ou, às vezes, até ocasiona a queda do sinal. Essa situação é comum quando outro aparelho utiliza a mesma frequência de operação para transmitir sinais de radiofrequência, podendo ser até outro equipamento *wireless* (MUNÓZ, 2009).

### 3.1 CABEAMENTO ESTRUTURADO

#### 3.1.1 Definição de cabeamento estruturado

Durante anos, os edifícios comerciais, para atender os seus usuários, possuem instalações elétricas, telefonia e rede de dados através de fios e cabos. Atualmente outros sistemas de cabeamento vêm sendo empregados, como, cabos para iluminação de emergência, cabeamento para CFTV (monitoramento através de câmeras), cabos para sistemas de alarme e incêndio, entre outros (MARIN, 2013b).

Inicialmente, os sistemas de cabeamento eram específicos para cada aplicação, eles não tinham nenhuma relação entre si. As infraestruturas eram independentes e os cabos totalmente diferentes para as suas finalidades. Esta individualidade demandava profissionais para cada sistema, aumentando o custo da manutenção (MARIN, 2013b).

Com o avanço da tecnologia em redes, foram estabelecidos novos requisitos para redes de comunicação em edifícios comerciais, a fim de servir a automação dos negócios e as necessidades de telecomunicações, facilitando o gerenciamento, o aumento de demanda e a manutenção (MARIN, 2013b).

Atualmente as transmissões de dados, voz e imagem podem ser realizadas através de uma única mídia digital, através de segmentação e multiplexação dos dados. Esta característica, de poder atender vários tipos de recursos, acarretou no aumento da demanda das redes de dados, levando a necessidade no aumento das taxas de transferência nas redes, e distribuição das instalações por todo o edifício,



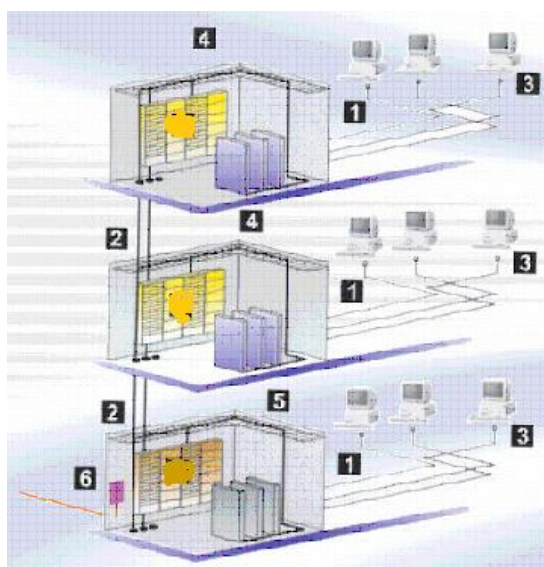
estendendo a comunicação interna ao meio externo de banda larga (MARIN, 2013b).

O conceito de automação predial, que se utiliza de sistemas de automação, necessita de serviços de comunicação de dados. Como consequência, internamente estes edifícios devem prover de infraestrutura de cabeamento para a interconexão dos diversos sistemas, e também com a rede pública externa, tanto para telefonia quanto para as redes de dados do tipo WAN (*Wide Area Network*) (MARIN, 2013b).

Além do cabeamento, os edifícios modernos devem considerar espaços na sua infraestrutura civil, onde ficam alocados os equipamentos ativos e passivos de rede, bem como o da entrada das facilidades externas de telecomunicações (Entrada do Edifício) (MARIN, 2013b).

Para atender a essas necessidades, emprega-se a técnica de cabeamento estruturado, que por definição é um sistema que permite a implementação de diferentes tecnologias e serviços de telecomunicações e automação predial por meio de uma infraestrutura única e padronizada de cabeamento (MARIN, 2013b).

Um sistema de cabeamento estruturado é dividido em seis subsistemas, como indicado na Figura 1.



1 - Cabeamento horizontal; 2 - Cabeamento de *backbone*, 3 - Área de trabalho, 4 - Salas de Telecomunicações, 5 - Sala de equipamentos, 6 - Entrada do edifício

Figura 1. Os 6 subsistemas do Cabeamento Estruturado. Fonte: Próprio autor.

### 3.1.1.1 Cabeamento horizontal

É o cabeamento que faz a conexão da área de trabalho com a sala de telecomunicação (*Rack*) (Figura 2). Podem ser utilizados diversos tipos de cabos: cabos UTP (*Unshielded Twisted Pair* – cabo de par trançado não blindado) (Figura 3), cabos F/UTP (*Foiled / Unshielded Twisted Pair* – cabo de par trançado sem blindagem individual e com blindagem geral) (Figura 4), cabos S/FTP (*Screened / Foiled Twisted Pair* – cabo de par trançado com dupla blindagem – individual e geral) (Figura 5) e fibras ópticas de duas ou quatro fibras (Figura 6). Para instalações que utilizam cabos de par trançado, a distancia máxima permitida para o cabo, da tomada de distribuição, que fica no *rack*, até a tomada de telecomunicação, na área de trabalho é de 90 metros (ANSI/TIA-568-C.1) (MARIN, 2013a).



Figura 2. Rack de Telecomunicação. Fonte: Próprio autor.



Figura 3. Cabo UTP. Fonte: Próprio autor.



Figura 4. Cabo F/UTP. Fonte: Próprio autor.



Figura 5. Cabo S/FTP. Fonte: Próprio autor.



Figura 6. Fibra Óptica de 2 fibras para redes LAN. Fonte: Próprio autor.

### 3.1.1.2 Cabeamento *backbone*

É o subsistema do cabeamento que interconecta as salas de telecomunicações (*Racks*), salas de equipamentos e a entrada do edifício. É a “espinha dorsal” do sistema de cabeamento, pelo *backbone* passa um volume de dados muito alto. Os cabos recomendados para o *backbone* não diferem dos cabos recomendados para o cabeamento horizontal, respeitando os mesmos limites de distância.

### 3.1.1.3 Área de trabalho

A área de trabalho é o espaço no qual ficam localizados os equipamentos finais de rede, como: computadores, impressoras, telefones, etc. Na área de trabalho encontram-se as tomadas de telecomunicações que dão acesso ao usuário conectar os seus equipamentos à rede.

### 3.1.1.4 Salas de telecomunicações

Nas salas de telecomunicações encontram-se os elementos de interconexão. Nestas ficam alocados os *switches* (Figura 7) e os *patch panels* (Figura 8) que fazem

a conexão da rede com o cabeamento horizontal. Estas salas podem ser substituídas por *racks*, no caso de quantidades menores de pontos na área de trabalho.

]



Figura 7. Equipamento distribuidor de rede – *Switch*. Fonte: Próprio autor.

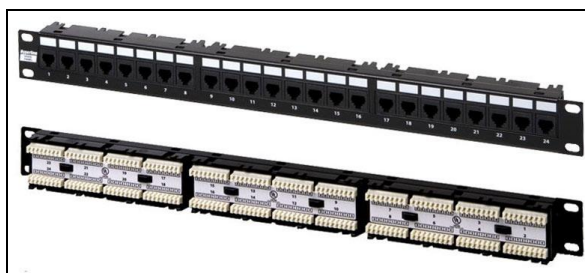


Figura 8. *Patch Panel*. Fonte: Próprio autor.

### 3.1.1.5 Salas de equipamentos

Nas salas de equipamentos ficam localizados os computadores servidores, centrais telefônicas, gravadores de imagens, roteadores entre outros. Tipicamente contém grande parte dos equipamentos de telecomunicações, bem como *switches*. Normalmente ela é projetada para atender o edifício inteiro, enquanto uma sala de telecomunicações é projetada para atender partes de um andar ou um andar inteiro de um edifício. Uma ou todas as funções de uma sala de telecomunicações pode ser atendida por uma sala de equipamentos, dependendo do projeto da instalação.

### 3.1.1.6 Entrada do edifício

A entrada do edifício tem como característica, receber os cabos externos ao ambiente interno do edifício. Deve prover circuitos de proteção, evitando assim danos aos sistemas internos. O Distribuidor Geral (DG) de telefonia encontra-se na entrada do edifício.

## 3.2 REDES DE COMPUTADORES

Uma rede de computadores é constituída por equipamentos interligados entre si por intermédio de um sistema de comunicação de dados, possibilitando a troca de informações. Além de estações de trabalho dos usuários, as redes permitem que outros equipamentos sejam compartilhados, de forma a permitir que os recursos disponíveis sejam melhores aproveitados. Alguns exemplos:

- Os usuários da rede podem compartilhar uma mesma impressora;
- Os usuários podem compartilhar uma mesma base de dados em um servidor de banco de dados;
- Os usuários podem se comunicar através de telefones IP, e também originar e receber ligações externas através de um “servidor de voz”;
- Os usuários podem utilizar o recurso de teleconferência disponibilizando voz e imagem.

### 3.2.1 Classificação das redes quanto à abrangência

#### 3.2.1.1 Redes LAN

Caracteriza-se como uma LAN (*Local Area Network*) ou rede local como sendo uma rede que interconecta equipamentos de comunicação de dados numa área de pequena abrangência. Tal definição é bastante vaga principalmente no que diz respeito às distâncias envolvidas. Nos dias de hoje, em função da grande demanda no uso de computadores, as redes LAN podem ser definidas como uma rede individual geralmente atendendo uma única área geográfica, fornecendo

serviços e aplicações a pessoas dentro de uma estrutura organizacional comum, tal como um único negócio, campus ou região. Uma LAN é geralmente administrada por uma única organização (MARIN, 2013b).

Em uma LAN, a comunicação dos mesmos não se dá de forma direta a um único equipamento distribuidor, mas por vários destes equipamentos que podem estar localizados em diversos *racks*.

São nos *racks* que ficam os componentes responsáveis em interconectar os equipamentos, como: computadores, impressoras de rede, pontos de acesso sem fio, telefones ip, câmeras ip e outros equipamentos que possuam porta de comunicação compatível. Nos racks ficam alojados os *switches* (equipamentos de distribuição de rede), as barras de tomadas fêmeas de rede, chamadas de *patch panels*, que conecta os cabos de rede do *rack* até as tomadas fêmeas da área de trabalho (Figura 9) (cabearamento horizontal). Também se concentram no rack, uma barra de tomadas elétricas (Figura 10) e os organizadores de cabos (Figura 11).



Figura 9. Tomada Fêmea RJ 45. Fonte: Próprio autor.



Figura 10. Barra de Tomadas. Fonte: Próprio autor.



Figura 11. Organizador de Cabos. Fonte: Próprio autor.

Os *racks* podem estar distribuídos em diversos locais dentro de uma edificação. Em uma instalação de rede estruturada, o número de tomadas fêmeas, *patch cords* e *line cords* (cordões de conexão entre portas de rede e *patch panel* ou *host*) (Figura 12) têm uma quantidade fixa de acordo com o número de equipamentos instalados na área de trabalho (*host*). Mas com relação ao posicionamento e o número dos equipamentos intermediários, *racks* com os seus acessórios, *switches*, *patch-panels*, barra de tomadas, organizadores de cabos, cabeamento horizontal e cabeamento *backbone*, o custo da instalação pode variar.

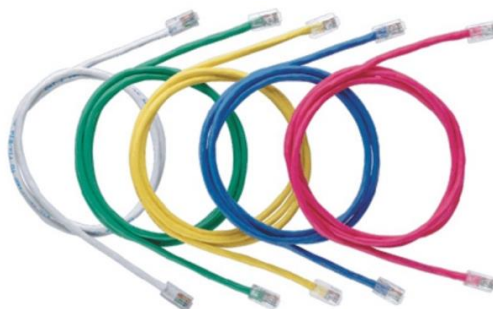


Figura 12. *Patch Cord* ou *Line Cord*. Fonte: Próprio autor.

### 3.2.1.2 Redes MAN

As redes MAN (*Metropolitan Area Networks*), ou redes metropolitanas, são aquelas cujos enlaces estão situados dentro dos limites de uma cidade ou de uma região metropolitana. Os enlaces podem ser feitos através de cabos de fibras ópticas, comunicação sem fio ou por par balanceado através de *modems*. Os enlaces podem ser proprietários ou de terceiros.

### 3.2.1.3 Redes WAN

As WANs (*Wide Area Networks*) são redes que abrangem regiões geograficamente distantes, interligando computadores localizados em diferentes cidades ou entre países distintos em continentes diferentes. Em geral, as WANs utilizam-se da infra-estrutura alugada de empresas de telecomunicações para implementação de seus enlaces. Sobretudo por questões tecnológicas, em geral as WANs possuem taxas de transmissão bem mais baixas do que aquelas das redes locais (SOARES *et al.*, 1999).

### 3.2.2 Topologia física de rede

A topologia física relaciona os aspectos de *hardware*, caracterizando a forma com que seus componentes estão conectados e configurando o caminho de comunicação entre os elementos da rede. A definição da topologia física a ser adotada é um dos principais aspectos no projeto de uma LAN, afetando os custos, a performance (velocidade de transmissão de dados), interrupções na rede para manutenção e administração. As topologias físicas de rede mais empregadas em LANs são:

- Topologia BUS: Esta topologia apresenta uma configuração onde as estações se conectam a um mesmo meio de transmissão, cabo coaxial, que forma um caminho não fechado, onde nas extremidades são instalados terminadores de rede (ou casadores de impedância) (Figura 13).

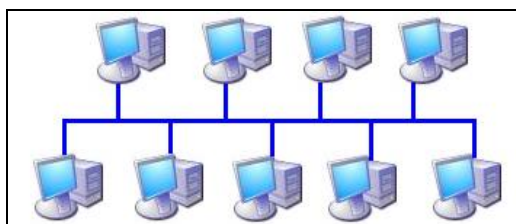


Figura 13. Topologia BUS. Fonte: Próprio autor.



- Topologia em anel (*Token Ring*): Na topologia em anel as estações se interligam através de um meio transmissão formando uma caminho totalmente fechado (Figura 14).

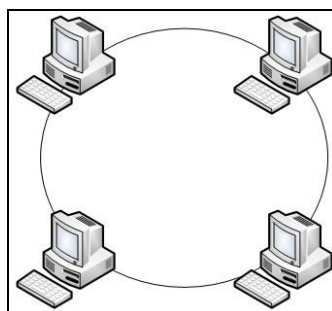


Figura 14. Topologia Anel. Fonte: Próprio autor.

- Topologia em estrela: Na topologia em estrela as estações de trabalho se conectam a um ponto de concentração da rede, que em geral é um equipamento distribuidor de rede (*hub* ou *switch*) (Figura 15).

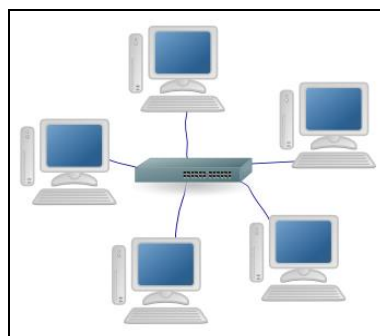


Figura 15. Topologia Estrela. Fonte: Próprio autor.

- Topologia em Árvore: é composta por várias sub-redes em estrela ligadas a um ou mais equipamentos distribuidores através de enlaces de maior taxa de transmissão. Esse tipo de enlace que interconecta as sub-redes é conhecido como backbone ou “espinha dorsal da rede” (Figura 16).

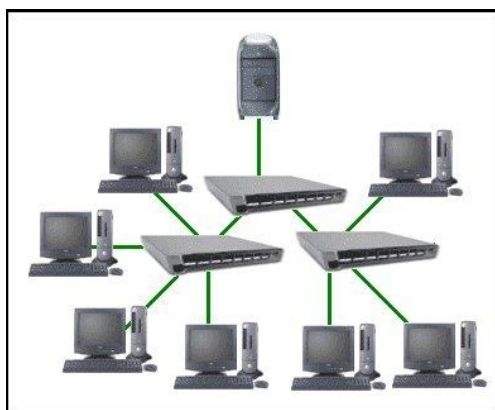


Figura 16. Topologia em Árvore. Fonte: Próprio autor.

### 3.2.3 Topologia lógica

A topologia lógica está relacionada a forma como os dados trafegam na rede, independente de sua topologia física, isto é, não importa quais os tipos de cabos que interligam os equipamentos e do desenho dos caminhos formados por estas conexões. Para entender melhor a diferença entre topologia física e topologia lógica podemos usar o exemplo de uma rede local Ethernet implementada com *hubs* (equipamento distribuidor básico): sua topologia física é do tipo estrela, mas sob o ponto de vista das aplicações (tráfego dos dados, softwares ou programas) seu funcionamento é do tipo barramento, ou seja, os dados são enviados a todos os equipamentos da rede simultaneamente (*broadcast*), sendo que, só o equipamento ao qual o dado foi endereçado o recebe (SOARES NETO *et al*, 1999.).

## 3.3 NORMAS PARA O SISTEMA DE CABEAMENTO

A norma brasileira de cabeamento estruturado, a NBR 14565:2012 (cabeamento estruturado para edifícios comerciais e data centers) cuja revisão mais recente é de julho/2012 teve sua cobertura ampliada para cabeamento em *data centers*. Esta norma é baseada nas normas internacionais ISO/IEC 11801:2010 (*Information technology - Generic cabling for customer premises*) e ISO/IEC 24764:2010 (*Information technology - Generic cabling systems for data centres*). Esta norma especifica um cabeamento estruturado para um edifício ou conjunto de edifícios em um campus e também para data centers e contempla cabeamento em cobre e fibras ópticas (MARIN, 2013a).

As normas desenvolvidas nos Estados Unidos, em sua grande maioria pela TIA (*Telecommunications Industries Association*), são bastante populares no Brasil no segmento de cabeamento estruturado e talvez as mais observadas pelos profissionais do setor. Apesar de serem normas interessantes, importantes, completas e úteis, é importante enfatizar que não são reconhecidas oficialmente no Brasil. Aqui, somente as normas NBR e ISO/IEC têm força de norma de fato e podem ser especificadas e observadas oficialmente. De qualquer forma, como a observação às normas não é obrigatória na maioria dos casos, normas dos Estados Unidos, da Europa (CENELEC), entre outras acabam sendo utilizadas como referência no Brasil (MARIN, 2013a).

A ANSI/TIA-568-C que define a concepção e implementação de sistemas de cabeamento estruturado para edifícios comerciais, e entre os edifícios em ambientes de campus. A maior parte das normas define os tipos de cabos, conectores, distâncias, arquiteturas de sistemas a cabo, cabo de terminação padrões e características de desempenho, requisitos de instalação de cabos e métodos de controle de cabo instalado. O padrão americano, ANSI/TIA-568-C.1 define requisitos gerais, enquanto que a ANSI/TIA 568-C.2 foca em componentes de sistemas equilibrados cabo de par trançado e a ANSI/TIA 568-C.3 endereços de componentes de sistemas de cabos de fibra óptica, ANSI/TIA 568-C.4, que abordou os componentes de cabeamento coaxial (MARIN, 2013a).

Definir o tipo e a categoria de cabeamento a serem implementados é de grande importância, pois a instalação fica submetida as suas limitações de desempenho, e a troca por outra categoria, acarretariam na substituição em sua totalidade. Para o sistema de cabeamento metálico (fio de cobre) as normas vigentes aprovam, para redes estruturadas as categorias, Cat 5e (Classe D), Cat 6 (Classe E), Cat 6a Classe Ea), além de outras categorias, que não serão aplicadas neste trabalho, como as categorias Cat 7 (Classe F), Cat 7a pela norma ISO/IEC 11801. Todos os componentes envolvidos na rede, *patch panels*, cabos, tomadas fêmeas, conectores, são categorizados e os seus custos diferem significativamente, alterando o custo da instalação (MARIN, 2013a).

### 3.4 O PROBLEMA DAS P-MEDIANAS (PPM)

Problemas de instalação de localização têm várias aplicações, tais como: áreas de telecomunicações, transportes, industriais e distribuição. Um dos mais conhecidos problemas de localização de instalações é o problema de  $p$ -medianas. Este problema consiste em localizar  $p$  facilidades num determinado espaço (por exemplo, um espaço euclidiano) que satisfaçam  $n$  pontos de demanda, de tal maneira que a soma total das distâncias dos pontos de demanda à sua facilidade mais próxima é minimizada (TEITZ, 1968).

Os problemas de localização podem ser classificados como problemas de cobertura e problemas de localização de medianas. Em ambas, decisões são tomadas sobre onde localizar facilidades (ARAKAKI, 2006). O PPM é um problema clássico de localização que tem grande importância prática como, por exemplo, na localização de escolas (PIZZOLATO, 1997), (BARCELOS, 2002) e (LORENA, 2004) e de antenas de telecomunicação (PEREIRA, 2002),

O Problema das  $p$ -Medianas pode ser classificado em não capacitado ou capacitado (PPMC).

O não capacitado considera-se que cada unidade candidata a mediana pode atender um número ilimitado de pontos de demanda. No caso do PPMC, cada instalação candidata tem uma capacidade fixa, ou seja, um número máximo de pontos de demanda que pode acomodar. O PPM é considerado um problema NP-Difícil (KARIV, 1979). Portanto, até mesmo os métodos heurísticos requerem um considerável esforço computacional para a resolução.

Esta dissertação foca em PPMC, cujo objetivo é escolher, dentre  $n$  vértices de um grafo, um conjunto de  $p$  vértices denominados medianas, de modo que a soma das distâncias de cada vértice restante até a mediana mais próxima, seja minimizada. O problema é dito capacitado porque cada mediana possui capacidade limitada para o atendimento aos pontos de demanda. No caso da não capacitada, para cada vértice mediana do grafo é associada uma capacidade ilimitada.

Assim, para o PPMC, o total dos pontos (vértices) cobertos por uma mediana não deve ultrapassar a capacidade de atendimento da mesma (LORENA *et al.*, 2001).

O PPM é um problema clássico de Otimização Combinatória caracterizado por combinações de um conjunto finito de elementos discretos (KARIV, 1979) afirmam que o PPM está pertence a classe de problemas NP-Difícil, pois não se conhece um algoritmo exato que o solucione em tempo polinomial. De acordo com Mladenovic *et al.* (2007), quanto maior o número de medianas instaladas, maior será o tempo computacional para solucionar o problema até um valor ótimo. A utilização de técnicas heurísticas é justificada para problemas que tem um tempo computacional elevado ou que não podem ser resolvidos em tempo polinomial. As técnicas heurísticas, embora não garantam a obtenção de soluções ótimas, obtêm bons resultados em tempo computacional razoável.

### 3.4.1 Exemplo de aplicação do PPM

Inicialmente, considere um conjunto de cinco posições em que uma delas deve ser escolhida para atender um determinado serviço. Considere, ainda, que cada posição demande uma quantidade unitária do referido serviço. As ligações entre as posições e as respectivas distâncias estão representadas na Figura 17. As posições estão representadas pelos nós (I, II, III, IV e V) e as distâncias entre eles estão representadas pelo valor de cada aresta.

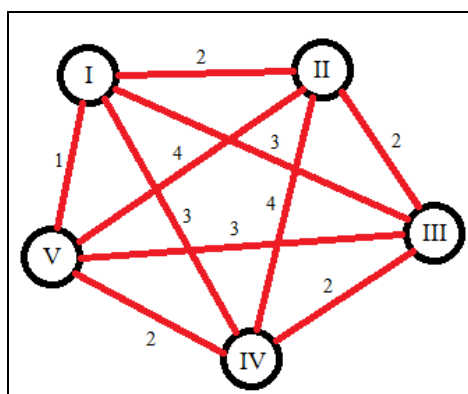


Figura 17. Representação do Exemplo em Grafo. Fonte: Próprio autor.

A partir das informações contidas na Figura 17 cria-se uma matriz  $W$

$$W = \begin{bmatrix} k_{1,1} & k_{1,2} & \cdots & k_{1,n} \\ k_{2,1} & k_{2,2} & \cdots & k_{2,n} \\ k_{3,1} & k_{3,2} & \cdots & k_{3,n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ k_{m,1} & k_{m,2} & \cdots & k_{m,n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 2 & 3 & 3 & 1 \\ 2 & 0 & 2 & 4 & 4 \\ 3 & 2 & 0 & 2 & 3 \\ 3 & 4 & 2 & 0 & 2 \\ 1 & 4 & 3 & 2 & 0 \end{bmatrix}$$

em que o elemento da  $n$ -ésima coluna da  $m$ -ésima linha representa o produto da demanda  $w_n$  da  $n$ -ésima posição pela distância  $d_{mn}$  entre tal posição e a  $m$ -ésima posição. Assim, a soma dos elementos da  $m$ -ésima linha representa a soma ponderada das distâncias de todas as posições até a  $m$ -ésima posição. A posição a ser escolhida como mediana será aquela cuja linha correspondente em  $W$  apresentar a menor soma. No exemplo, onde as demandas são unitárias, o valor que gerou o menor custo, esta relacionado ao serviço ser prestado pela posição 1, cujo valor de custo é 9 (nove).

### 3.5 ALGORITMOS GENÉTICOS

A técnica do Algoritmo Genético foi definida por Holland (1975) em seu livro: *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. Na década de 1960 ele desenvolveu os primeiros estudos relacionados ao AG, baseado nos estudos de Fisher, relacionado com a evolução natural do indivíduo, através de várias gerações (Fisher, 1930). O AG foi difundido posteriormente pelo seu aluno David E. Goldberg, no livro: *Genetic Algorithms In Search Optimization And Machine Learning*.

Um Algoritmo Genético é um processo iterativo que mantém uma população de estruturas que são candidatas à solução de um problema. Durante cada geração, os indivíduos da população corrente são avaliados através de uma medida de desempenho (*fitness*) que indica o quão próximo um indivíduo está de ser a solução do problema. Considerando estas avaliações, uma nova população de soluções candidatas é formada, aplicando três operadores genéticos: seleção, *crossover* e mutação (MICHALEWICZ, 1996). Um indivíduo da população é um ponto no espaço de busca do problema, representado no sistema por uma estrutura representando seus cromossomos, um conjunto de símbolos de tamanho normalmente fixo.

Na Figura 18 é apresentado o pseudocódigo da estrutura do *evolution program* (EP) proposto por Holland (1975). O pseudocódigo exposto pode ser considerado genérico para um AG.

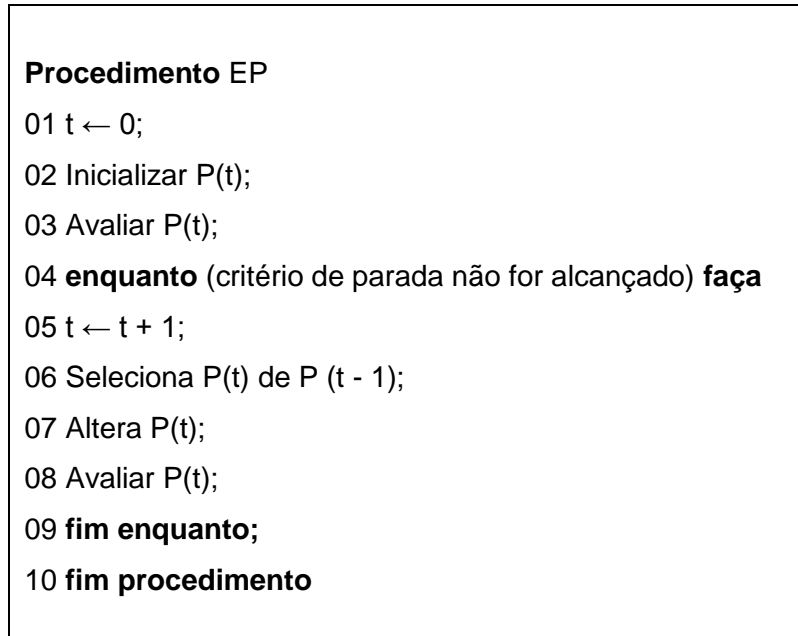


Figura 18. Estrutura de um *evolution program* (HOLLAND, 1975).

Os AGs utilizam os conceitos da biologia, tais como: indivíduos, populações, reprodução, cruzamento e mutação.

### 3.5.1 Indivíduos

Cada indivíduo é representado por um cromossomo, uma sequência de genes (Figura 19). Cada gene ocupa um local fixo no cromossomo e pode assumir um valor que representa uma característica do indivíduo.



Figura 19. Representação de um cromossomo. Fonte: Próprio autor.

Cada indivíduo possui uma adaptabilidade, ou *fitness*, que é o valor que representa a qualidade deste indivíduo, como por exemplo, o custo de uma instalação de um conjunto de antenas para atender um determinado número de clientes, de acordo com a posição indicada pelo cromossomo. Quanto maior o *fitness* maior será a probabilidade de o indivíduo sobreviver ao ambiente, reproduzir-se e gerar descendentes, passando partes do seu material genético às próximas gerações.

### **3.5.2 População.**

Uma população reúne os indivíduos mais adaptados da geração anterior, com exceção da população inicial que é gerada aleatoriamente ou por uma heurística própria. O tamanho da população é um fator que influencia na resolução do problema, já que populações muito grandes tornam o AG custoso, consumindo muito tempo de processamento para formar cada geração.

### **3.5.3 Operadores Genéticos.**

Existem basicamente três tipos de Operadores Genéticos (OG) comuns em AGs: a Reprodução, o Cruzamento e a Mutação.

#### **3.5.3.1 Operador Genético de Reprodução.**

Este operador faz uma cópia do indivíduo de uma geração para a próxima geração. Ele é aplicado a uma parcela dos indivíduos de uma população de forma a garantir que estes indivíduos apareçam na geração posterior. Em outras palavras, o OG de Reprodução é a clonagem de alguns indivíduos.



### 3.5.3.2 Operador Genético de Cruzamento.

Este operador seleciona dois indivíduos de uma geração (pais) e um ponto de cruzamento aleatório. Então, gera dois novos indivíduos para uma nova geração (filhos) utilizando em cada um dos filhos uma parte do cromossomo de cada pai (Figura 20).

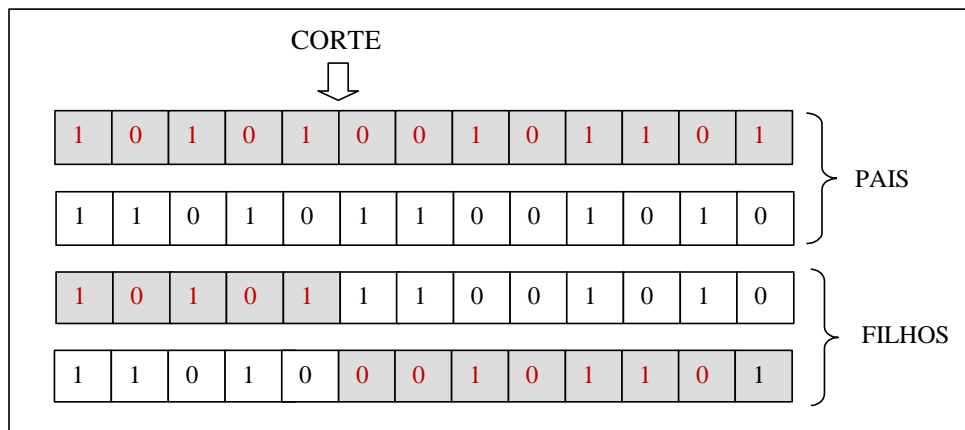


Figura 20. Operação de cruzamento. Fonte: Próprio autor.

A tendência é que os dois novos indivíduos (filhos) após a realização do OG de Cruzamento possuam características bem diferentes, já que um herdou a parte inicial de seu cromossomo do 1º indivíduo original (pai) e a parte final de seu cromossomo do 2º indivíduo original (pai), enquanto o outro recebeu exatamente o contrário. Como na seleção natural, existe a tendência de um filho apresentar maior adaptabilidade que o outro e por este motivo ele possui maior probabilidade de se reproduzir nas próximas gerações, enquanto o filho com menor *fitness* possui a tendência de desaparecer em algumas gerações.

### 3.5.3.3 Operador Genético de Mutação.

O operador de mutação seleciona um indivíduo da população e troca alguns genes deste indivíduo gerando um novo. Na Figura 21 um novo indivíduo é gerado com a mutação em apenas um dos genes.

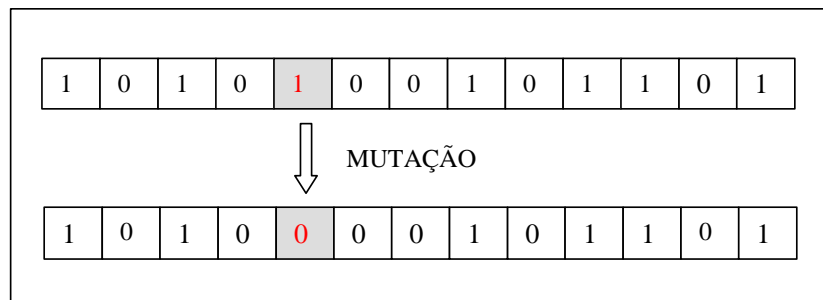


Figura 21. Operação de mutação. Fonte: Próprio autor.

A mutação possui um papel fundamental na evolução populacional, pois é capaz de introduzir, ou restaurar, características novas aos indivíduos, além de evitar a convergência prematura para ótimos locais.

#### 3.5.4 Funcionamento Básico de um AG

De maneira simples, pode-se descrever um AG através da seguinte sequência de procedimentos:

- Toma-se uma população inicial de soluções possíveis para o problema;
- Através de probabilidade, selecionam-se alguns indivíduos desta população, e com estes realizam-se: reprodução, cruzamento e mutação a fim de gerar novos indivíduos, que por sua vez formaram uma nova geração;
- A partir desta nova geração é obtida uma nova população. Com esta população o processo reinicia até que determinada condição seja satisfeita. Esta condição pode ser escolhida pelo usuário do AG: o número de gerações, o tempo computacional, a estagnação dos indivíduos de uma geração, uma melhoria percentual dos indivíduos de cada geração, entre outros. Quando esta condição é então atingida o AG finaliza e, então, o cromossomo da última geração que representa o melhor resultado, é tomado como solução para o problema.

### 3.5.5 Uso do algoritmo genético para a solução do PPM

Algoritmos Genéticos são algoritmos evolucionários baseados na teoria da evolução das espécies de Charles Darwin. Foram propostos por John Holland na década de 1970 e, a partir de então, vêm sendo aplicados com sucesso a diversos problemas práticos de otimização (MAN, 1996). Nesta seção é feita uma revisão sobre os diversos tipos de Algoritmos Genéticos utilizados para solucionar o PPM.

Segundo Alp, Erkut e Drenzner (2003), a primeira publicação em que um AG foi aplicado ao PPM, foi devida a Hosage (1986). Neste trabalho, as soluções do problema foram codificadas como uma sequência de  $n$  dígitos binários denominados gene. Entretanto, como esta codificação não garante a seleção de  $p$  instalações em cada solução, foi utilizada uma função de penalidade com o intuito de impor tal restrição.

De acordo com Alp, Erkut e Drenzner, (2003), com a escolha da codificação proposta por Hosage (1986), mesmo em problemas muito pequenos, não se obtém boas soluções para o problema.

O AG proposto por Chiou (2001) instala pontos que servem como sementes de cluster para resolver o PPM. São selecionadas sementes de cluster que mais se adequam como medianas. Os vértices restantes são atribuídos a grupos, de acordo com a sua semelhança com as sementes do cluster ou de acordo com sua capacidade de melhorar a função objetivo.

De acordo com Arroyo, Marques e Cortes (2006), o PPM foi modelado para alocação de antenas de transmissão. Foi apresentada em Kratica *et al.* (2007) a instalação de redes de sistemas de transporte e telecomunicações, chamada de redes hub, usadas em transporte aéreo e terrestre, em sistemas de distribuição postal e em redes de computadores.

Lorena e Furtado (2001) resolveram o problema utilizando um AG construtivo, sendo que este algoritmo difere do AG convencional, por utilizar uma dinâmica populacional. Assim, são descritas duas funções de avaliação, obtendo-se novos problemas de *clustering* com a formulação de um problema bi-objetivo de otimização.

Bozkaya, Zhang e Erkut (2002) apresentaram um AG que desenvolve modelos de soluções como cromossomos, em que cada gene do cromossomo é um

índice de um vértice das  $p$ -medianas. Nesta formulação são utilizados três operadores de cruzamento.

Alp, Erkut e Drenznner, (2003) descreveram um AG em que a função *fitness* é a própria função objetivo. Considerando que os AG tradicionais utilizam uma abordagem de cruzamento, esse método cria uma união dos cromossomos dos pais, dando origem a uma solução inviável. Uma heurística gulosa é aplicada para diminuir o número de genes (a fim de tornar viável a solução) e o operador de mutação não é utilizado.

Correa *et al.* (2004) desenvolveram um AG para a versão capacitada do PPM. Neste trabalho, uma heurística foi introduzida como um novo operador genético. Este operador, chamado hipermutação, melhora a aptidão de certa percentagem de genes. Os autores apresentam resultados computacionais do algoritmo com e sem a heurística hipermutação, e comparam estes resultados com os resultados obtidos por uma busca tabu.

Borgulya (2005) apresentou um algoritmo evolutivo híbrido no qual foi utilizada uma codificação para selecionar um subconjunto de candidatos a medianas. Após essa seleção, é aplicado o operador de recombinação sob medida para o problema e são selecionados genes nos cromossomos de mutação, baseado em uma memória explícita. O autor também aplica uma sequência de dois ou três procedimentos de busca local a cada nova solução.

Fathali (2006) propôs um AG que inicia com uma solução viável e a cada iteração procura melhorá-la. Cada cromossomo corresponde a uma solução para o PPM, com genes em número igual ao de medianas, ou seja, cada gene corresponde ao índice de uma instalação selecionada. A aptidão de um cromossomo foi dada pelo valor da função objetivo da solução correspondente. O tamanho da população e a população inicial são dois fatores eficazes na convergência do algoritmo. Para gerar novos membros, os pais são selecionados aleatoriamente.

Ghoseiri e Ghannadpour (2007) apresentaram um Algoritmo Genético para resolver o PPM capacitado. São apresentadas duas técnicas diferentes, sendo uma delas uma forma clássica de atribuição e a outra uma atribuição por meio de urgências. Segundo os autores, a forma clássica de atribuição mostra uma demora considerável, enquanto que a atribuição por meio de urgências foi superior em qualidade das soluções.

Stanimirović, Kratica e Dugosija (2007) apresentaram duas heurísticas para resolver um problema derivado do PPM, chamado de *Discrete Ordered Median Problem* (DOMP). Os métodos heurísticos são nomeados de HGA1 e HGA2, ambos baseados em algoritmos genéticos híbridos. Estes algoritmos possuem a heurística *Fast Interchange* como busca local. Para investigar o efeito do desempenho de codificação no AG foram implementados dois esquemas de codificação diferentes, uma codificação binária para o HGA1 e uma representação inteira para o HGA2. Se a codificação for binária, é utilizado o HGA1 e, os novos operadores genéticos que mantêm a viabilidade dos indivíduos são propostos. A representação inteira mantém os indivíduos viáveis.

Pullan (2008) introduziu um algoritmo populacional baseado em uma busca híbrida. O AG se baseia, principalmente, no corte e operadores de cruzamento, para gerar novos pontos de partida para uma nova busca híbrida. Segundo o autor, este algoritmo foi capaz de alcançar bons resultados para instâncias de grande porte do Problema das p-Medianas.

Kaveh e Shojaee (2008) desenvolveram dois métodos eficientes para resolver instâncias de grande porte. O primeiro algoritmo se baseia na otimização de Colônia de Formigas e o segundo faz uma hibridização entre o algoritmo Colônia de Formigas e um Algoritmo Genético. Ambos os métodos foram avaliados utilizando exemplos de topologias diferentes.

Santos (2011) propôs uma metodologia de resolução de um problema de entregas que abrange a integração de dois problemas clássicos de Otimização Combinatória: o Problema de Carregamento de Container (PCC) e o Problema de Roteamento de Veículos (PRV). Para isso foi apresentada uma metodologia baseada em formação de torres de caixas e um Algoritmo Bottom-Left para realizar o carregamento dos pedidos no compartimento de carga dos veículos, e um AG para realizar a otimização evolutiva da solução até que se encontre uma solução suficientemente próxima à solução ótima do problema, buscando diminuir, a cada geração, a distância total percorrida pelos veículos de entrega.

Sousa Filho *et al* (2012), apresentaram uma arquitetura de software para sistemas de informação em um domínio de problemas de localização de facilidades. Esta arquitetura foi projetada com o intuito de flexibilizar o desenvolvimento de ferramentas deste domínio. Para validar a flexibilidade desta arquitetura,

implementaram duas ferramentas que se utilizaram de três serviços distintos de otimização para os problemas de localização: Localização de Máxima Cobertura,  $p$ -mediana não capacitado e  $p$ -mediana.

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Fazendo uma analogia com o problema clássico das  $p$ -Medianas Capacitado (PPMC), o problema consiste em localizar as posições dos *racks*, medianas, conectados aos seus clientes, vértices, gerando o menor custo para a instalação (Figura 22). Os *racks* utilizados têm limite de capacidade de atendimento tornando-o um PPMC. Para o PPMC, o total dos pontos (vértices) cobertos por uma mediana não deve ultrapassar a capacidade de atendimento da mesma (LORENA *et al.*, 2001). Este estudo de caso foi tratado como um problema de localização de facilidades, no qual foi aplicado o PPMC por meio de Algoritmo Genético. Foram utilizados o AG convencional e o AG com elitismo proposto por Holland (1975), que consiste em manter o melhor indivíduo da função objetivo, na iteração seguinte.

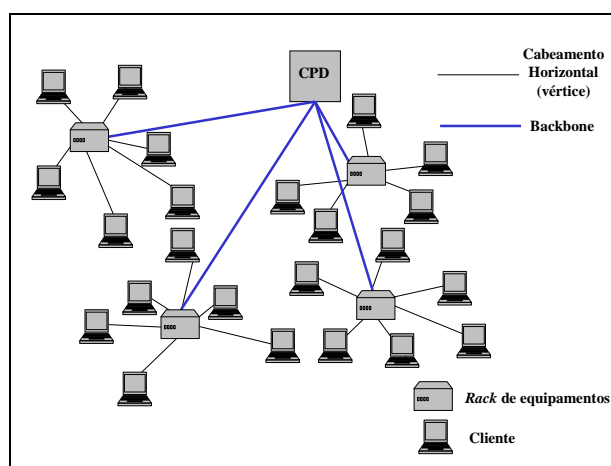


Figura 22. Problema de Localização de *Racks*. Fonte: Próprio autor.

### 4.1.1 Modelagem matemática

Para a modelagem matemática, inicialmente serão apresentados os parâmetros do problema, seguidos dos índices, das variáveis de decisão, finalizando com o modelo, com as restrições e a descrição de cada uma delas.

#### 4.1.1.1 Parâmetros

$S$  – conjunto de salas (grupos);

$C$  – conjunto de clientes;

$V_{Kit}$  – valor monetário do kit composto por um *switch*, um *patch panel* e dois organizadores de cabo;

$V_{Cabo}$  – valor monetário do metro de cabo;

$V_{Rack}$  – valor monetário de um de *rack*;

$V_{Switch}$  – valor monetário de um *switch*;

$V_{OrgCabo}$  – valor monetário do organizador de cabo;

$V_{PatchPanel}$  – valor monetário do *patch panel*;

$w$  – valor grande o suficiente;

$g$  –  $g_{i,j}$  informa se o cliente  $k$  pertence a sala  $i$ , se  $g_{i,k} = 1$ , pertence; se  $g_{i,k} = 0$ , não pertence;

$d$  -  $d_{i,k}$  representa a distância entre o *rack* da sala  $i$  e o cliente  $k$ ;

$d_{rack}$  –  $d_{rack_{i,j}}$  representa a distância da sala  $i$  até a sala  $j$ .

#### 4.1.1.2 Índices

$i, j$  – índices de salas

$k$  – índice de clientes

#### 4.1.1.3 Variáveis de decisão

$y_i$  – variável de decisão binária que indica se o *rack* associado a sala  $i$  está em uso;

$z_i$  – variável de decisão inteira que indica o número de kits associados ao *rack* da sala  $i$ ;



$x_{ij}$  - variável de decisão binária que informa se a sala  $i$  está sendo atendida pelo rack da sala  $j$ ;

$C\_Cabo$  – variável de decisão linear que representa o custo gerado com compra de cabos;

$C\_Rack$  – variável de decisão linear que representa o custo gerado com o gabinete do *rack* com barra de tomadas;

$C\_Kit$  – variável de decisão linear que representa o custo gerado com *switches* de 24 portas, *patchpanels* e organizadores de cabo.

#### 4.1.1.4 Modelo

$$\text{Min } C\_Cabo + C\_rack + C\_Kit \quad (1)$$

Sujeito a

$$C\_Cabo = V\_Cabo * \left( \sum_i \sum_k (d_{i,k} * g_{i,k}) + \sum_i \sum_k \sum_j (x_{i,j} * d\_rack_{i,j} * g_{i,k}) \right) \quad (2)$$

$$C\_Rack = V\_Rack * \sum_i y_i \quad (3)$$

$$C\_Kit = V\_Kit * \sum_i z_i \quad (4)$$

$$\sum_j x_{i,j} = 1 \quad \forall i \in S \quad (5)$$

$$z_i \leq w * y_i \quad \forall i \in S \quad (6)$$

$$\sum_i \left( x_{i,j} * \sum_k g_{i,k} \right) \leq 24 * z_j \quad \forall j \in S \quad (7)$$

$$x_{i,j} \leq y_j \quad \forall i, j \in S \quad (8)$$

Sendo que

$$V\_Kit = V\_switch + V\_PatchPanel + 2 * V\_OrgCabo$$

No qual:

1 – Função objetivo que visa minimizar o gasto com cabos e acessórios e equipamentos de rede.

2 – Gasto com cabos - a primeira parcela representa o gasto com cabo do cliente até a saída da sala; a segunda parcela representa o gasto com cabo da saída da sala até o *rack* que o atende.

3 – Gasto com *racks* – contabiliza o gasto total com os gabinetes de *rack* na instalação;

4 – Gasto com Kits – contabiliza o gasto total com *switches*, *patch-panels* e organizadores de cabo que se encontram instalados nos *racks*.

5 – Restrição, que todos os pontos de uma sala só podem ser atendidos por um único *rack*.

6 – Só deve haver kit se o *rack* estiver em uso

7 – A capacidade de clientes em cada *rack* não deve ultrapassar a capacidade máxima que seus *switches* limitam.

8 – Os pontos de uma sala só podem ser atendidos por *racks* em uso

## 4.2 EXPERIMENTO

Este trabalho abrange redes do tipo LAN, cabeamento horizontal, área de trabalho e *racks* de telecomunicações, desconsiderando o sistema de voz analógico, pois o mesmo não se aplica com relação aos equipamentos distribuidores de redes (*switches*).

Para o teste da solução do problema foi utilizada apenas uma parte da planta baixa da instituição de ensino (Figura 23), correspondente ao nível térreo do bloco E (Figura 24), onde constam 13 laboratórios com 261 pontos de *hosts* instalados. Cada laboratório possui uma única saída para os cabos de rede, que foi considerada como uma candidata a ser um ponto de localização de *rack*.

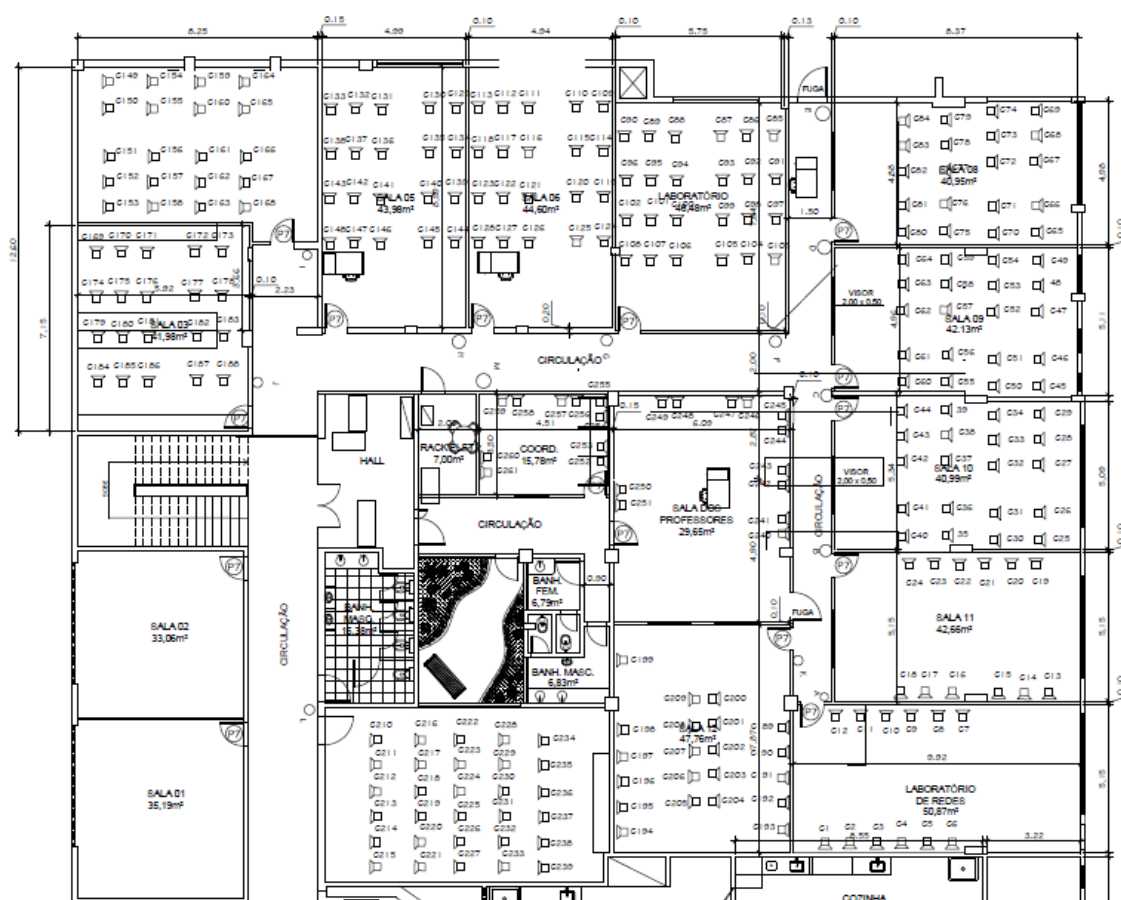


Figura 23. Planta baixa com a localização das salas contendo os computadores e os pontos de saída.  
Fonte: Próprio autor.

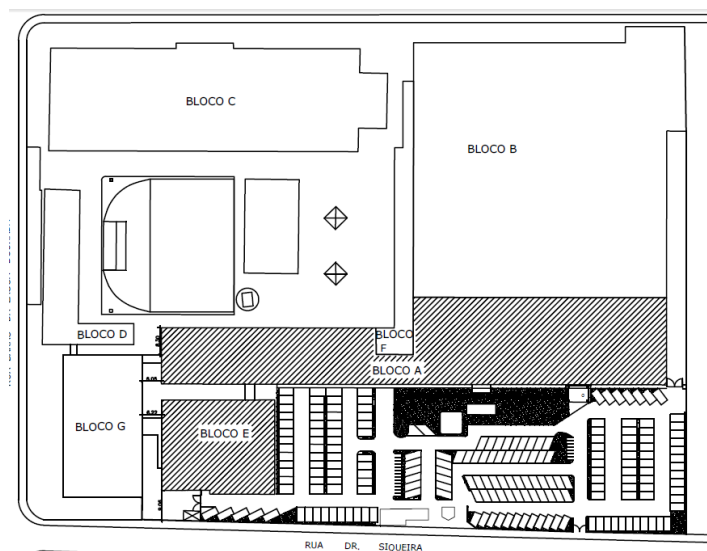


Figura 24. Planta Geral da Instituição de Ensino. Fonte: Próprio autor.

Na Tabela 1 são informadas as distâncias entre as saídas das salas.

Tabela 1. Distâncias entre as saídas das salas. Fonte: Próprio autor.

	saída A	saída B	saída C	saída D	saída E	saída F	saída G	saída H	saída I	saída J	saída K	saída L	saída M
saída A	0	5,10	10,50	15,60	20,20	19,26	25,06	30,16	35,26	38,56	2,27	48,04	30,90
saída B	5,10	0	5,40	10,50	15,10	14,16	19,96	25,06	30,16	33,46	4,80	42,94	25,80
saída C	10,50	5,40	0	5,10	9,70	3,66	9,46	14,56	19,66	22,96	10,20	32,44	15,30
saída D	15,60	10,50	5,10	0	4,60	5,10	10,90	16,00	21,10	24,40	15,30	33,88	16,74
saída E	20,20	15,10	9,70	4,60	0	9,70	15,50	20,60	25,70	29,00	19,90	38,48	21,34
saída F	19,26	14,16	3,66	5,10	9,70	0	5,80	10,90	16,00	19,30	8,46	28,78	11,64
saída G	25,06	19,96	9,46	10,90	15,50	5,80	0	5,10	10,20	13,50	14,26	22,98	5,84
saída H	30,16	25,06	14,56	16,00	20,60	10,90	5,10	0	8,96	8,40	19,36	17,88	3,40
saída I	35,26	30,16	19,66	21,10	25,70	16,00	10,20	8,96	0	5,53	28,32	17,10	12,36
saída J	38,56	33,46	22,96	24,40	29,00	19,30	13,50	8,40	5,53	0	27,76	15,90	11,80
saída K	2,27	4,80	10,20	15,30	19,90	8,46	14,26	19,36	28,32	27,76	0	37,24	20,10
saída L	48,04	42,94	32,44	33,88	38,48	28,78	22,98	17,88	17,10	15,90	37,24	0	21,28
saída M	30,90	25,80	15,30	16,74	21,34	11,64	5,84	3,40	12,36	11,80	20,10	21,28	0

Um cromossomo corresponde a uma solução de instalação de rede que tem um determinado custo (*fitness*), correspondente a uma quantidade de *racks* e seus acessórios, *patch panel*, cabos e *switches* de rede (Figura 25). Cada gene corresponde a um *rack* instalado numa saída de cabos de uma determinada sala, no corredor da edificação. Para o cálculo do custo de cada cromossomo, é necessário alocar os pontos de cada sala aos *racks* que foram determinados por este. Para a alocação dos pontos aos *racks*, primeiramente, alocam-se os pontos das salas que possui a sua saída de cabos um *rack* atribuído. Após esta alocação, é verificada a menor distância entre saídas cujos pontos de rede não foram alocados. Se forem atendidas as restrições, a alocação dos pontos é realizada ao *rack* escolhido, caso contrário esta alocação será penalizada, alterando o valor da distância desta solução para um valor elevado. O algoritmo volta a procurar a menor distância, e assim sucessivamente até todos os pontos serem alocados. Foram consideradas as seguintes restrições: cabo de par trançado categoria 5e, 90 metros; pontos pertencentes a uma mesma sala só podem ser alocados em um único *rack*; existe uma quantidade limite de pontos por *rack*, que é um dado de entrada no programa, sendo este múltiplo de 24, tendo como referência a quantidade de *switches* de 24 portas por *rack*.

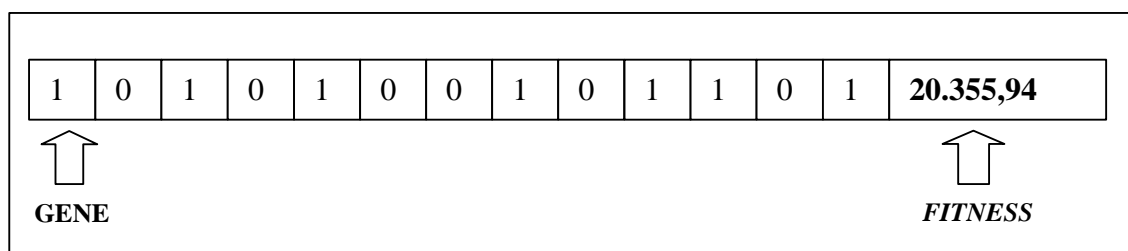


Figura 25. Cromossomo correspondente a uma solução de instalação de rede. Fonte: Próprio autor.

Na Figura 26 é apresentado o fluxograma referente ao modelo do AG proposto.

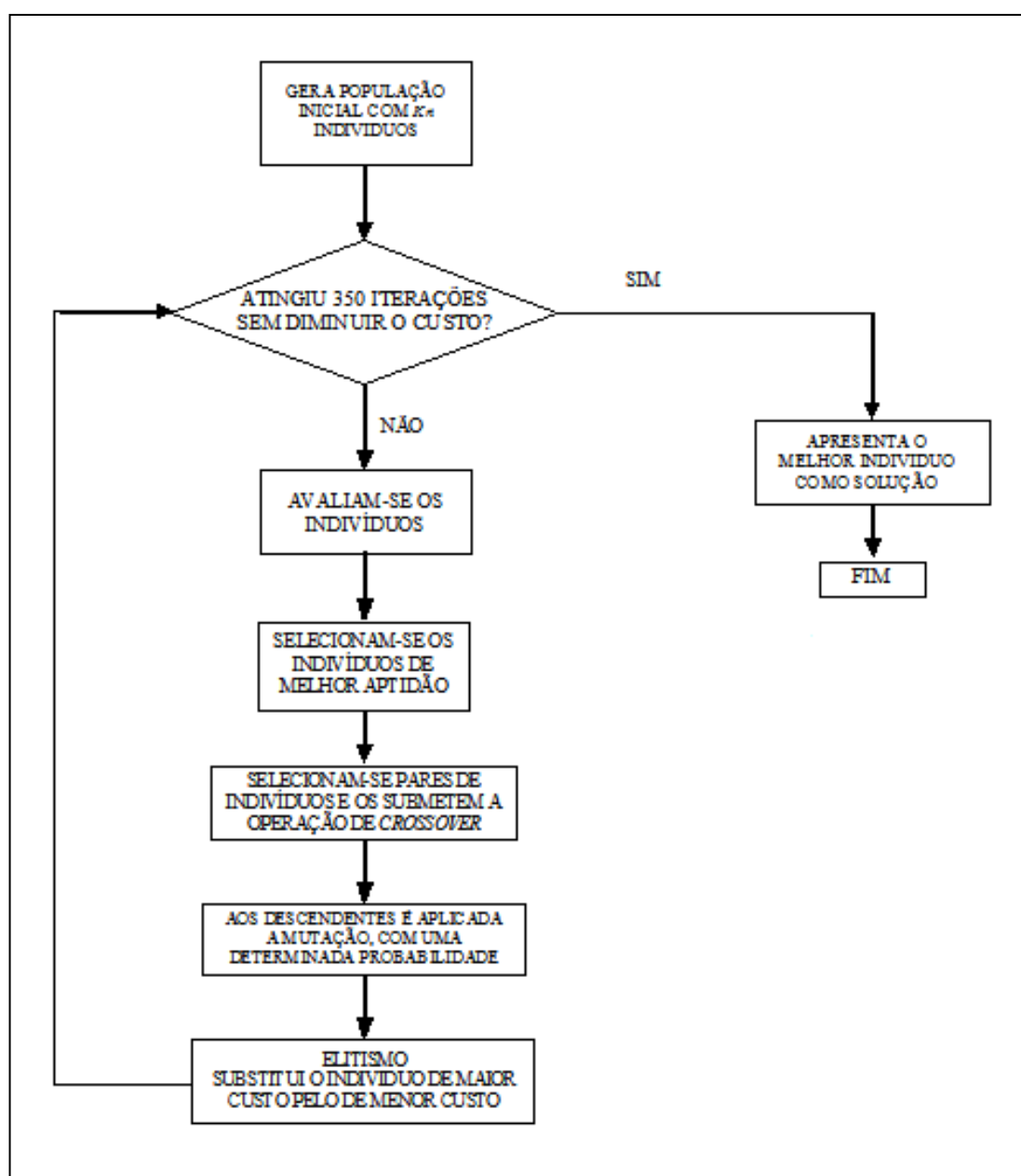


Figura 26. Fluxograma do modelo proposto. Fonte o próprio autor. Fonte: Próprio autor.

A rotina do AG seguiu o seguinte procedimento:

1. Inicialmente foi gerada uma população de cromossomos com 13 genes e 40 indivíduos aleatoriamente;
2. Foi calculado o custo (*fitness*) da instalação para cada indivíduo, armazenando o melhor indivíduo da população;
3. Foi realizada uma seleção, pelo método da roleta, criando uma população com indivíduos de melhor aptidão;
4. Aplicou-se *crossover* de 1 corte com posição aleatória (Figura 27) em 60% dos indivíduos;
5. Aplicou-se mutação de posição aleatória de 1 gene por cromossomo (Figura 28) em 4% dos indivíduos;
6. A cada iteração é aplicado o elitismo, o pior indivíduo é trocado pelo indivíduo de melhor *fitness*;
7. Retornar ao passo 2, enquanto for encontrado melhoria no valor do custo em 350 iterações.

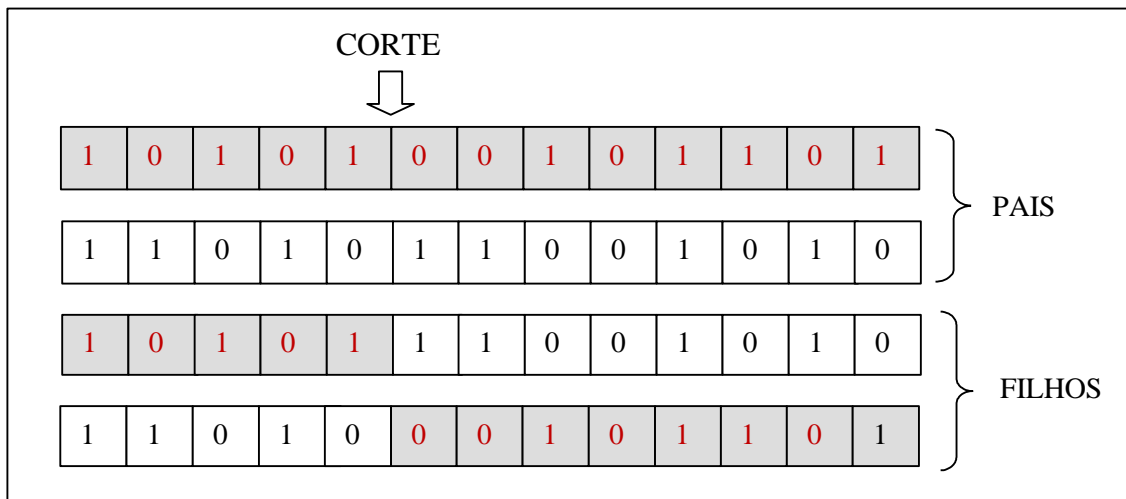


Figura 27. Crossover de 1 corte. Fonte: Próprio autor.

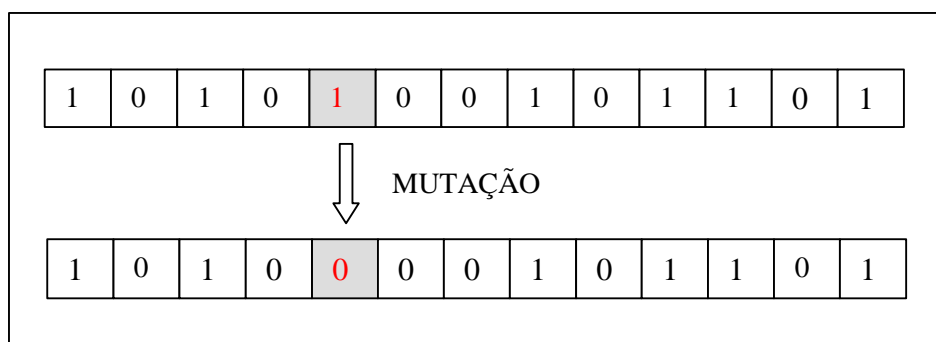


Figura 28. Mutação de 1 gene. Fonte: Próprio autor.

Para gerar o custo em valor monetário, foram informados no programa, os valores unitários em reais (R\$) dos componentes que influenciam diretamente no cálculo do custo (Tabela 2).

Tabela 2. Custo individual dos componentes que interferem no custo (Valores referentes a 10/2013).

Fonte: Próprio autor.

Componentes	Valor em R\$
Rack de 8 u's	450,00
Switch Gerenciável Gigabit 3com 2928 <u>24</u> Pt Giga	800,00
Patch Panel de 24 portar Cat 5e Furukawa	207,00
Organizador de cabo	15,00
Metro do cabo Cat 5e Furukawa	0,90

Para a aplicação do AG, foi desenvolvido um programa em linguagem “C” em um *open-source* multi-plataforma IDE (*Integrated Development Environment*) chamado *Code Blocks*.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram aplicados o AG convencional e o AG com elitismo. Para o aplicativo com elitismo, foi observado que o melhor resultado foi atingido com um número menor de iterações em relação ao convencional. No caso do algoritmo com elitismo, a cada iteração o indivíduo de melhor *fitness* é inserido na população.

Inicialmente foi aplicado o AG convencional, onde foi observada uma grande instabilidade no resultado do *fitness*, como mostrado na nuvem de pontos, que vem a ser a plotagem dos resultados da população a cada 5 iterações do AG (Figura 29). Observa-se também a instabilidade na evolução do melhor resultado a cada iteração (Figura 30). Para esta semente as configurações do AG foram: população de 40 indivíduos 25% de cruzamento e 1% de mutação, ao longo de 800 iterações.

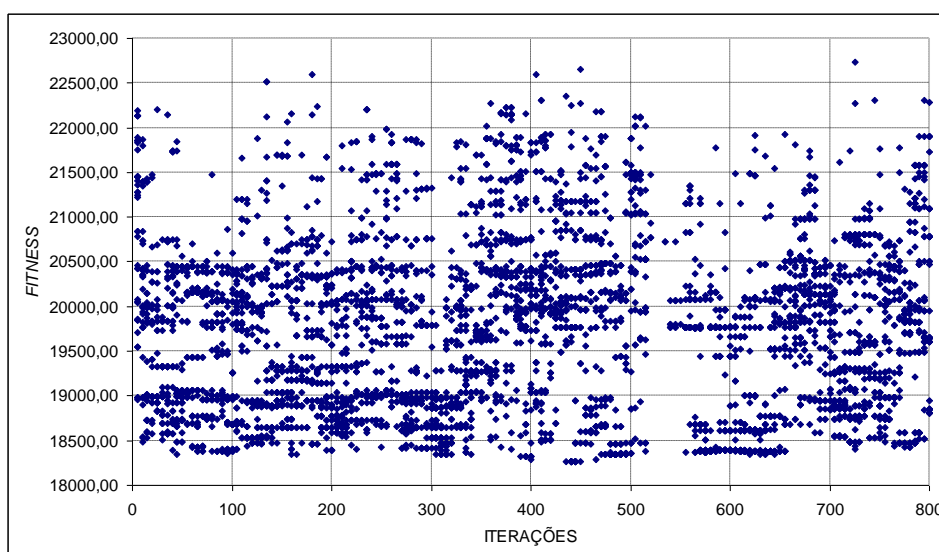


Figura 29. Nuvem de pontos do AG convencional. Fonte: Próprio autor.



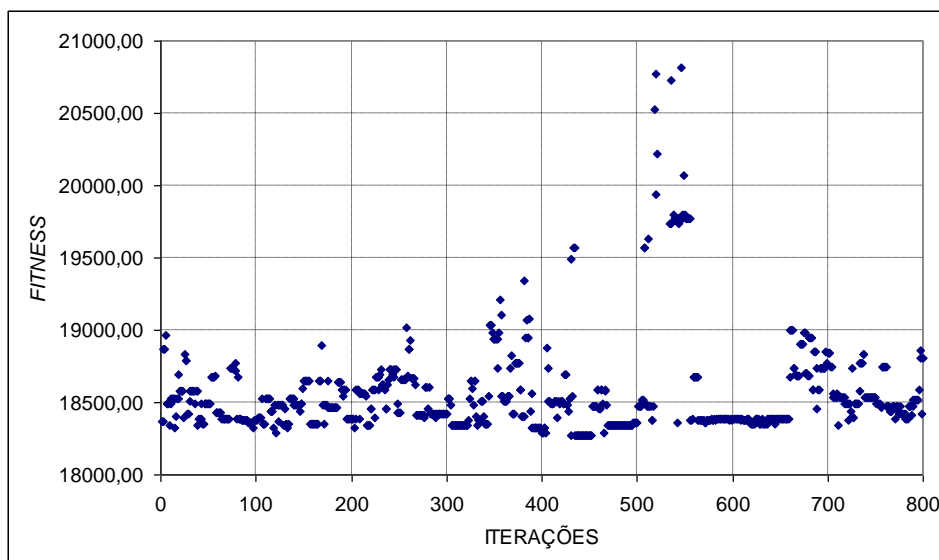


Figura 30. Evolução do resultado do AG convencional. Fonte: Próprio autor.

Com as mesmas configurações da semente anterior, aplicou-se o AG com elitismo, observou-se pela nuvem de pontos (Figura 31), soluções menos instáveis em relação ao AG convencional. Os pontos de instabilidade que aparecem na Figura 31 referem-se ao processo de mutação, devido a sensibilidade do cromossomo a pequenas mudanças nos genes, resultando picos em alguns resultados nas iterações.

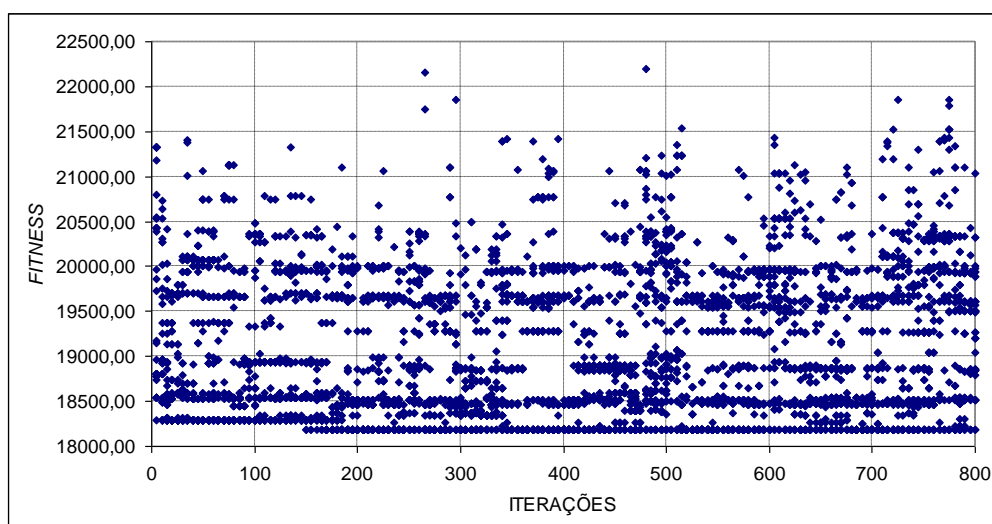


Figura 31. Nuvem de pontos do AG com elitismo. Fonte: Próprio autor.

Na Figura 32 apresenta-se a evolução do melhor resultado a cada iteração para o AG com elitismo.

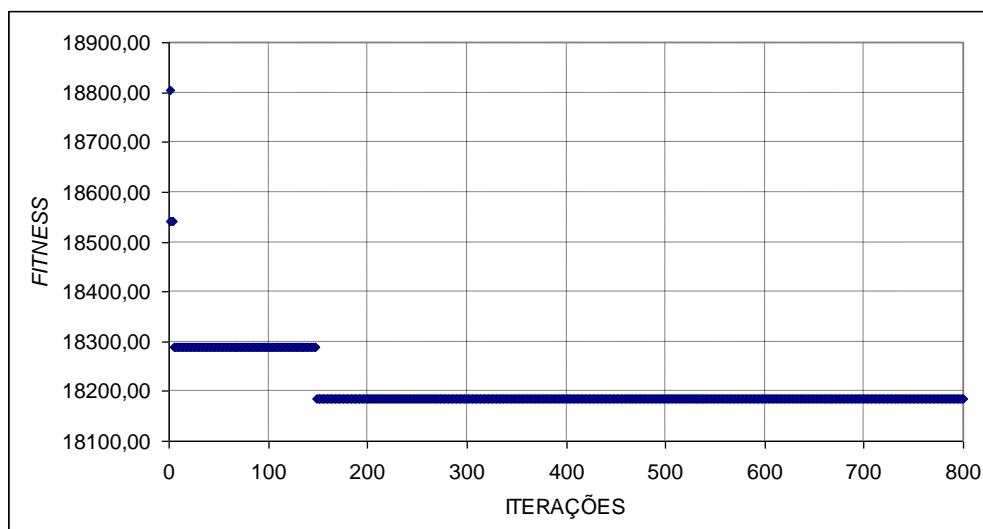


Figura 32. Evolução do resultado para o AG com elitismo. Fonte: Próprio autor.

Comparando o *fitness* do cromossomo da Figura 33 com o *fitness* do cromossomo da Figura 34, observa-se a grande discrepância no valor dos resultados, apenas com a mudança do gene 9 com o gene 11, mostrando a grande sensibilidade na alteração da solução, provocando zonas de instabilidade .

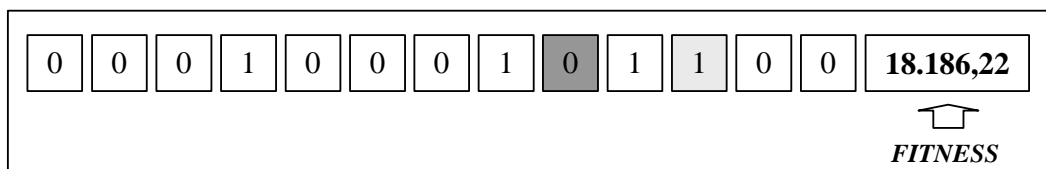


Figura 33. Cromossomo com o valor do *fitness* correspondente. Fonte: Próprio autor.

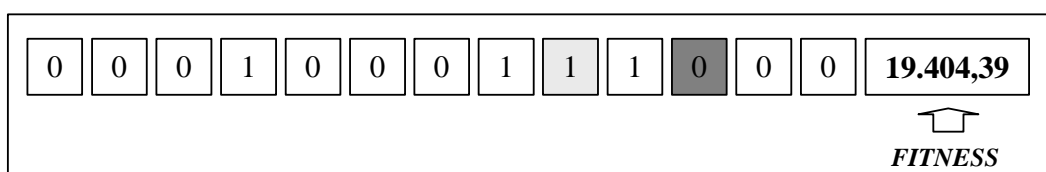


Figura 34. Cromossomo com o valor do *fitness* correspondente. Fonte: Próprio autor.

Ajustando a escala dos gráficos das Figuras 29 e 32, referente a nuvem de pontos dos resultados dos AGs, convencional e com elitismo (Figura 35 e 36) e comparando-os, observa-se que os resultados dos indivíduos com elitismo são menos dispersos em relação ao convencional.

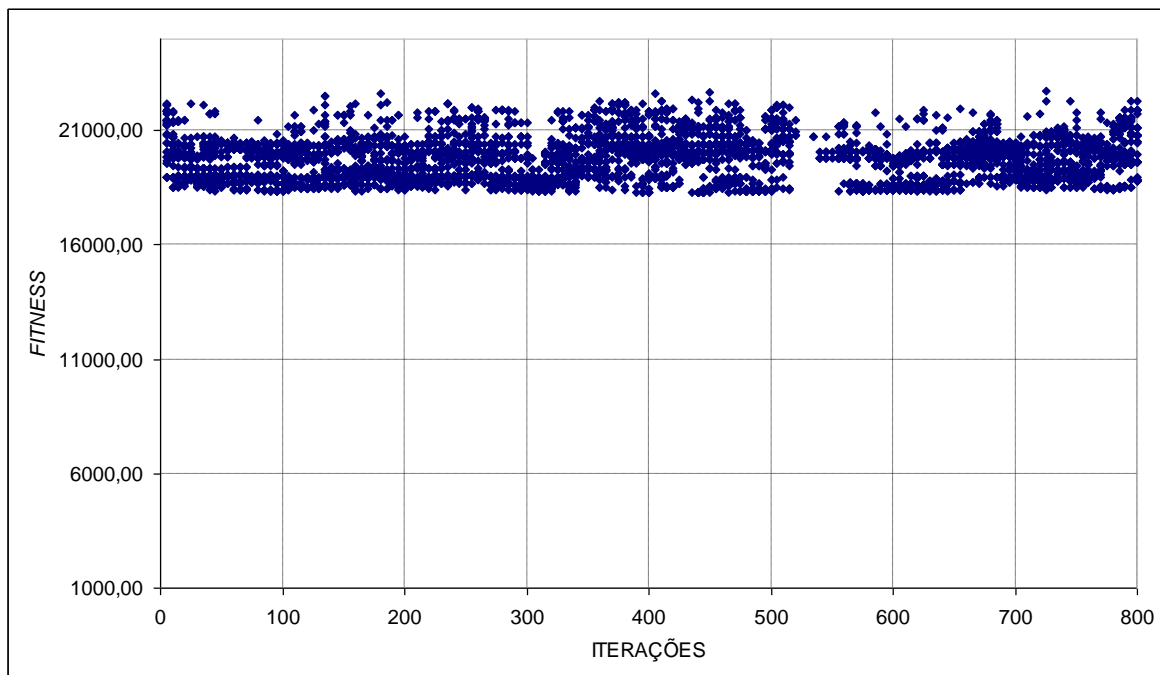


Figura 35. Nuvem de pontos aplicando o AG convencional. Fonte: Próprio autor.

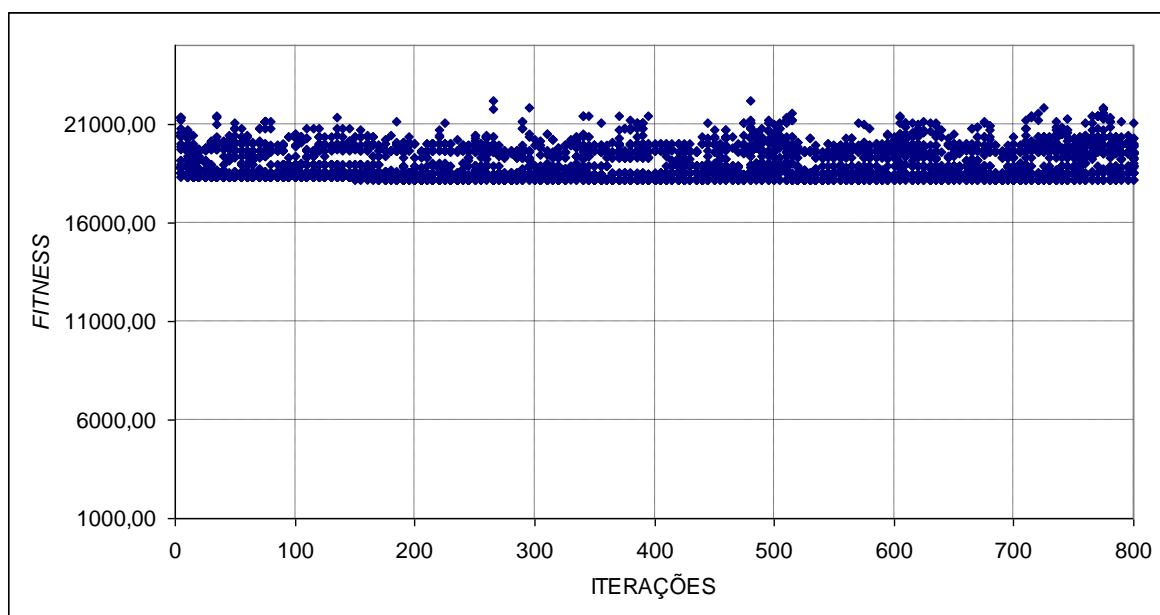


Figura 36. Nuvem de pontos aplicando o AG com elitismo. Fonte: Próprio autor.

Na Figura 37 destaca-se a média do menor valor de 30 sementes diferentes a cada iteração ao longo de 634 iterações, para o aplicativo com e sem elitismo, correspondente a uma instalação Cat5e. Pode-se observar que:

- para a solução com elitismo a declividade da curva é maior, atingindo o valor ótimo com menos iterações em relação a solução sem o elitismo;
- no decorrer das gerações a solução com elitismo chega a um valor ótimo melhor em relação à solução sem elitismo
- entre as iterações centésima e trecentésima ocorre uma diminuição na evolução da função objetivo, tendendo a um mínimo local.

Isso demonstra que o AG desenvolvido com elitismo evolui na busca por uma solução de qualidade para o problema, sem estagnar, claramente é mostrado que, o AG com elitismo encontra a solução mais rápido que o AG sem elitismo.

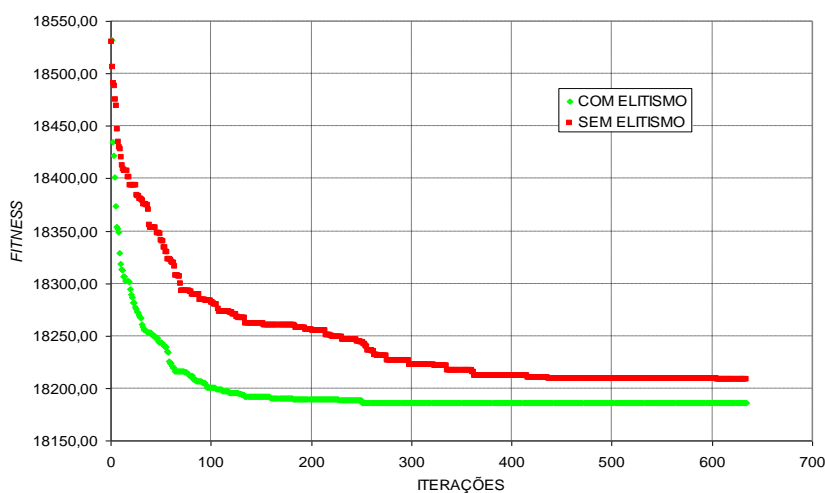


Figura 37. Evolução da média de 30 sementes do melhor indivíduo com elitismo e sem elitismo, de uma população de 40 indivíduos ao longo de 634 iterações. Fonte: Próprio autor.

O cromossomo Figura 38 foi o que apresentou o melhor resultado com o custo aproximado de R\$18.186,22 após as 1000 iterações, que resultou num quantitativo de componentes de 4 *racks*, 4 barras de tomadas, 12 *switches*, 12 *patch panels*, 24 organizadores de cabos e 4.242,24 metros de cabo.

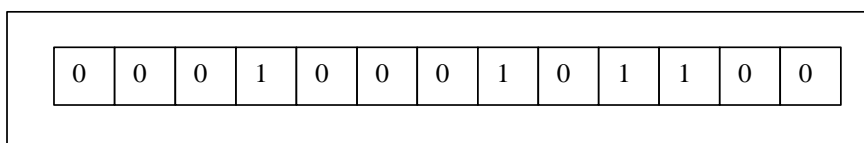


Figura 38. Cromossomo que representou o melhor resultado para o teste. Fonte: Próprio autor.

Na Figura 39 é apresentada a configuração de distribuição dos pontos aos *racks* para o cromossomo de melhor resultado para a função objetivo. Como existe a restrição que os pontos das salas só podem ser atendidos por um único *rack*, fica caracterizada a alocação dos pontos de salas inteiras aos *racks*, onde o gene 4 correspondente a saída D, o gene 8 correspondente a saída H, o gene 10 correspondente a saída J e o gene 11 correspondente a saída K, foram os escolhidos para atender a instalação.

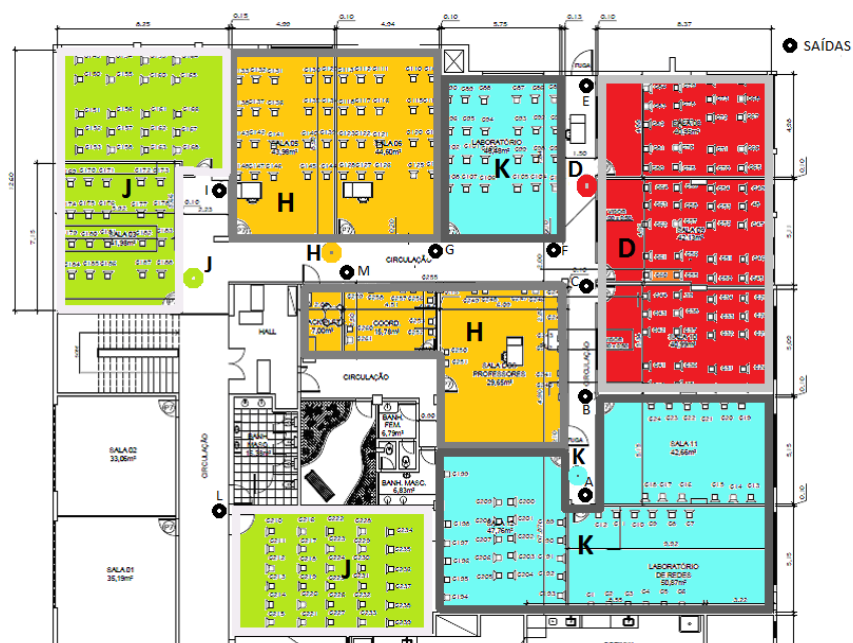


Figura 39. Planta indicando as salas atendidas pelos *racks* correspondentes ao cromossomo que apresentou o melhor resultado. Fonte: Próprio autor.

Para a saída D (gene 4) foram alocados os pontos das saídas; B (gene 2), C (gene 3), D (gene 4) e E (gene 5), totalizando 60 pontos de rede. O *rack* da saída D ficou com a seguinte configuração; 3 *switches*, 3 *patch panels*, 3 organizadores de cabo e 1 barra de tomada.

Para a saída H (gene 8) foram alocados os pontos das saídas; G (gene 7), H (gene 8) e M (gene 13), totalizando 62 pontos de rede. O *rack* da saída H ficou com a seguinte configuração; 3 *switches*, 3 *patch panels*, 3 organizadores de cabo e 1 barra de tomada.

Para a saída J (gene 10) foram alocados os pontos das saídas; I (gene 9), J (gene 10) e L (gene 12), totalizando 70 pontos de rede. O *rack* da saída J ficou com a seguinte configuração; 3 *switches*, 3 *patch panels*, 3 organizadores de cabo e 1 barra de tomada.

Para a saída K (gene 11) foram alocados os pontos das saídas; A (gene 1), F (gene 6) e K (gene 11), totalizando 69 pontos de rede. O *rack* da saída K ficou com a seguinte configuração; 3 *switches*, 3 *patch panels*, 3 organizadores de cabo e 1 barra de tomada.

O observa-se que o aplicativo distribuiu os equipamentos de forma uniforme para os *racks* envolvidos na solução, e que os 261 pontos foram atendidos conforme a restrição do problema, mantendo os pontos da sala a um único *rack* e o limite de distância.

Foi executado pelo programa o custo considerando *racks* instalados em todas as salas. Esta configuração corresponde a um cromossomo com todos os genes com valor 1 (Um) (Figura 40), que resultou num custo de R\$23.560,25. Apenas na sala que possui a saída “M” foram necessários 2 *switches*, pois a mesma tem uma demanda de 30 pontos internos. O gerou um quantitativo de 13 *racks*, 13 barras de tomadas, 14 *patch panels*, 14 *switches*, 28 organizadores de cabo e 3.108 metros de cabo.

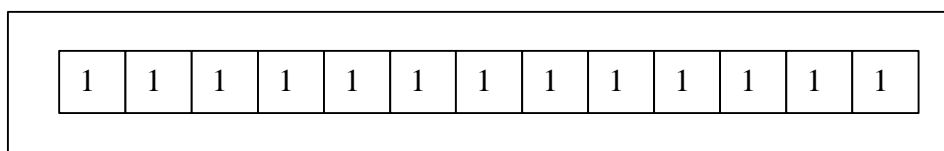


Figura 40. Representação cromossômica que corresponde a 1 *rack* em cada sala. Fonte: Próprio autor.

Comparando a instalação atual da escola com a solução encontrada pelo AG, observa-se um ganho monetário de 22,8% que corresponde a uma diferença de R\$ 5.375,57.

## 6 CONCLUSÃO

A alocação de *racks* aplicando AG foi considerada eficiente para o teste, considerando-se 261 pontos, proporcionalmente, se aplicado para toda instalação, de 4000 pontos, gerará uma economia de um valor considerável em relação a instalação proposta pela instituição, e se for calculado para todos os Campi da instituição, esta economia será muito maior.

Com a utilização do AG aplicando o elitismo chegou-se a um melhor resultado e mais rápido em relação AG convencional.

Observa-se que o resultado do custo atingido no AG convencional é maior em relação ao com elitismo.

A nuvem de resultados, utilizando o AG com elitismo, é menos dispersa, levando a um resultado menos instável.

Para trabalhos futuros, pode-se utilizar o aplicativo para um número maior de pontos de rede. Utilizar o aplicativo do AG, modificando as características da rede, como uma instalação com outras características como cabo de par trançado Cat6 ou fibras ópticas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDINNOUR-HELM, S. A hybrid heuristic for the uncapacitated hub location problem. **European Journal of Operational Research**, v. 106, p. 489-499, 1998

ABDINNOUR-HELM, S.; VENKATARAMANAN, M.A. **Using simulated annealing to solve the p-hub location problem**. In: IRMIS Working paper, 9304, Decision and Information Systems Department, School of Business, Indiana University, Bloomington, Indiana, 1993.

ALP, O.; ERKUT, E.; DRENZNER, D. An efficient genetic algorithm for the p-median problem. **Annals of Operations Research**, Boston, EUA, v. 122, p. 21-42, 2003.

ARAKAKI, Reinaldo Gen Ichiro; LORENA, Luiz Antonio Nogueira. Uma heurística de localização-alocação (HLA) para problemas de localização de facilidades. **Produção**, São Paulo, SP, v. 16, n. 2, p. 319-328, 2006.

ARROYO, J. E. C.; MARQUES, T. B.; CORTES, J. M. R. Um algoritmo genético para o problema de alocação de antenas de transmissão. **Anais In: XXVI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**, Fortaleza, 2006.

BARCELOS, Fabrício Broseghini; PIZZOLATO, Nélio Domingues; LORENA, Luiz Antonio Nogueira. Localização de escolas do ensino fundamental com modelos capacitado e não-capacitado: caso de Vitória/ES. **Pesquisa Operacional**, Rio de Janeiro, v.24, n.1, p.133-149, Janeiro a Abril de 2004.

BORGULYA, I. A hybrid evolutionary algorithm for the p-median problem. **Proceedings In: CONFERENCE ON GENETIC AND EVOLUTIONARY COMPUTATION (GECCO'05)**, p. 649–650, 2005, Washington, DC, EUA.

BOZKAYA, B.; ZHANG, J.; ERKUT, E. **An efficient genetic algorithm for the p-median problem**. New York: Springer-Verlag, 2002. p. 179–205.

CARRIÓN, D. S. D. **Avaliação de Protocolos de Autenticação em Redes sem Fio**. Dissertação de mestrado. COOPE/UFRJ: Rio de Janeiro, 2005



CASTELLS, MANUEL. A sociedade em rede. **A era da Informação: economia, sociedade e cultura**. São Paulo: Paz e Terra, 1999.

CHIOU, Y.; LAN, L. W. Genetic clustering algorithms. **European Journal of Operational Research**, v. 135, p. 413-427, 2001. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221700003209>>. Acesso em: 16 nov. 2013.

COMER, D. E. **Redes de computadores e internet: abrange transmissão de dados, ligação inter-redes e web**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2007.

CORREA, E. S.; STEINER, M. T. A.; FREITAS, A. A.; CARNIERI, C. A genetic algorithm for solving a capacitated p-median problem. **Numerical Algorithms**, v. 35, p. 373-388, 2004. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1023/B:NUMA.0000021767.42899.31>>. Acesso em: 16 nov. 2013.

CUNHA, C.B.; SILVA, M.R. A genetic algorithm for the problem of configuring hub-and-spoke network for a LTL trucking company in Brazil. **European Journal of Operational Research**, v. 179, p. 747-758, 2007.

FATHALI, J. A genetic algorithm for the p-median problem with pos/neg weights. *Applied Mathematics and Computation*, v. 183, p. 1071-1083, 2006. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0096300306006424>>. Acesso em 16 nov. 2013.

GAREY, M.R.; JOHNSON, D.S. **Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness**, San Francisco: W.H. Freeman, 1979.

GHOSEIRI, K.; GHANNADPOUR, S. F. Solving capacitated p-median problem using genetic algorithm. **Proceedings IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL ENGINEERING AND ENGINEERING MANAGEMENT**, 2007. p. 885-889.

HOLLAND, J. H. **Adaptation in natural and artificial systems: An introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence**. Oxford, England: U Michigan Press, 1975.

HOSAGE, M.F.C.M. GOODCHILD. Discrete space location-allocation solutions from genetic algorithms. **Annals of Operational Research**, v. 6, p. 35-46, 1986. Disponível em: <http://www.geog.ucsb.edu/~good/papers/78.pdf>. >. Acesso em 16 nov. 2013.

KARIV, O.; HAKIMI, S.L. The p-median problems. In: *An Algorithmic Approach to Network Location Problems*. **SIAM Journal on Applied Mathematics**, v. 37, n. 3, p. 539-560, 1979. Disponível em: <<http://www.jstor.org/discover/10.2307/2100911?uid=2&uid=4&sid=21102993402823>>. Acesso em 16 nov. 2013.

KAVEH, A.; SHOJAEI, S. Optimal domain decomposition via p-median methodology using a hybrid approach. **Finite Elements in Analysis and Design**, v. 44, p. 505-512, 2008. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168874X08000127>>. Acesso em 16 nov. 2013.

KLINCEWICZ, J. Heuristics for the p-hub median problem. **European Journal of Operational Research**, v. 79, p. 25-37, 1991.

KRATICA, J.; et al. Two genetic algorithms for solving the uncapacitated single allocation p-hub median problem. **European Journal of Operational Research**, v. 182, p. 15-28, 2007. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221706006163>>. Acesso em 16 nov. 2013.

LORENA, L.A.N. et al. Integração de modelos de localização a sistemas de informações geográficas. **Gestão e Produção**, São Carlos, SP, v. 8, n. 2, p. 180-195, 2001.

LORENA, L.A.N.; FURTADO, J.C. Constructive genetic algorithm for clustering problems. **Evolutionary Computation**, v. 9, p. 309-328, 2001. Disponível em: <<http://www.mitpressjournals.org/doi/abs/10.1162/106365601750406019>>. Acesso em 16 nov. 2013.

LORENA, L. A. N.; PEIREIRA, M. A. A lagrangean/surrogate heuristic for the maximal covering location problem using Hillsman's edition. **International Journal of Industrial Engineering**, v. 9, n. 1, p. 57-67, 2002. Disponível em: <<http://www.feg.unesp.br/~mapereira/artigos/v9n1a06.pdf>>. Acesso em 16 nov. 2013.

MLADENOVIC, N.; BRIMBERG, J.; HANSEN, P.; PEREZ, J.A.M. The p-median problem: A survey of metaheuristic approaches. **European Journal of Operational Research**, v. 179, n. 3, p. 927-939, 2007. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221706000750>>. Acesso em 16 nov. 2013.

MAN, K.F.; TANG, K.S.; KWONG, S. Genetic algorithms: concepts and applications. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, v. 43, p. 519-534, 1996. Disponível em: <[http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&number=538609&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs\\_all.jsp%3Fnumber%3D538609](http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&number=538609&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs_all.jsp%3Fnumber%3D538609)>. Acesso em 16 nov. 2013.

MARIN, PAULO S. Atualização de normas e desenvolvimentos em cabeamento estruturado. **Anais ... CONGRESSO NETCOM**, São Paulo, SP, 2013a.

MARIN, PAULO S. **Cabeamento Estruturado - Desvendando cada passo: do projeto à instalação**. 4. ed. São Paulo: Érica. 2013b.

MICHALEWICZ, Z. **Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs**. New York: Springer-Verlag, 1996.

MUNÕZ, H. A. A. **Avaliação da interferência de redes sem fio WI-FI e Bluetooth sobre uma rede BACNET/IEEE 802.15.4**. Dissertação de mestrado. UNB: Brasília, 2009.

PIZZOLATO, Nélio Domingues; SILVA, Hamilton B. Fraga da. The Location of Public Schools: Evaluation of Practical Experiences, **International Transactions in Operations Research**, v. 4, n. 1, p. 13-22, 1997. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0969601696000299>>. Acesso em 16 nov. 2013.

PIZZOLATO, N.D.; BARCELOS, F.B.; LORENA; L.A.N. **School Location Methodology in Urban Areas of Developing Countries**. In: IFORS - THE SIXTEENTH TRIENNIAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL FEDERATION OF OPERATIONAL RESEARCH SOCIETIES. 2002.

PIZZOLATO, N. D. et al. Localização de escolas públicas: síntese de algumas linhas de experiências no Brasil. **Pesquisa Operacional**, Rio de Janeiro, v. 24, p. 111-131, 2004.

PULLAN, W. A population based hybrid metaheuristic for the p-median problem. **Proceedings** In: IEEE CONGRESS ON EVOLUTIONARY COMPUTATION (CEC 2008), p. 75-82, 2008.

SANTOS, P. A. V. H. dos. **Resolução do problema de carregamento de container e de roteamento de veículos utilizando algoritmos genéticos**. Dissertação (Métodos Numéricos em Engenharia), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

SOARES NETO, V., SILVA, A. P., BOSCATO JÚNIOR, M. **Telecomunicações: redes de alta velocidade: cabeamento estruturado**. 1. ed. São Paulo: Érica, 1999.

SOUSA FILHO, G. F. et al. Uma arquitetura e ferramentas para problemas de localização de facilidades no setor público. In: VIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO. **Anais ...** São Paulo, p. 619-630, 2012.

SMITH, K.; KRISHNAMOORTHY, M.; PALANISWAMI, M. Neural versus traditional approaches to the location of interacting hub facilities. **Location Science** (Special Issue on Hub Location), v. 4, n. 3, p. 155-171, 1996.

STANIMIROVIĆ, Z.; KRATICA, J.; DUGOSIJA, D. Genetic algorithms for solving the discrete ordered median problem. **European Journal of Operational Research**, v. 182, p. 983-1001, 2007. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221706009842>>. Acesso em 16 nov. 2013.

TEITZ, M.B.; BART, P. Heuristic concentration: Two-stage solution construction. **European Journal of Operational Research**. v. 16, p. 955–961, 1968. Disponível

em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221796001002>>. Acesso em 16 nov. 2013.

TOPCUOGLU, H.; CORUT, F.; ERMIS, M.; YLMAZ, G. Solving the uncapacitated hub location problem using genetic algorithms. **Computers and Operations Research**, v. 32, p. 967-984, 2005

ZIVIANI, N. **Projeto de Algoritmos com Implementações em Pascal e C**. 2. ed. São Paulo: Thompson Learning, 2004. v. 1. 572 p.