

HEURÍSTICAS GRASP+VND E ILS+VND PARA O PROBLEMA DE ALOCAÇÃO DE PONTOS DE ACESSO EM UMA REDE EM MALHA SEM FIO

Tiago de Azevedo Santos (UCAM/IFF)

tiago@iff.edu.br

Dalessandro Soares Vianna (UFF)

dalessandro@ucam-campos.br

Edwin Benito Mitacc Meza (UFF)

emitacc@gmail.com

RENATA MESQUITA DA SILVA (IFF)

renatames@iff.edu.br



No problema de máxima cobertura, facilidades devem ser alocadas de modo a atender um conjunto de clientes, maximizando a sua cobertura, de forma que o maior número de clientes (pontos de demanda) seja coberto. Este trabalho apresenta uma proposta para a solução do problema de máxima cobertura baseado na implantação de uma rede em malha sem fio que será proposta para a instalação em uma instituição federal de ensino. Entende-se como rede em malha sem fio, redes autoconfiguráveis que interconectam um conjunto de nós fixos capazes de rotear pacotes entre si. O objetivo é atender o número máximo de clientes com um número fixo de pontos de acesso. Para resolver o problema citado, foram propostas duas heurísticas baseadas nas metaheurísticas GRASP (Greedy Randomized Adaptive Search Procedure), ILS (Iterated Local Search) combinadas com o método VND (Variable Neighborhood Descent). Testes computacionais realizados mostram a adequação das heurísticas propostas ao problema abordado.

Palavras-chaves: Máxima cobertura, rede em malha sem fio, GRASP, ILS



1. Introdução

Os problemas de localização podem ser classificados em problemas de cobertura e problemas de localização de medianas. Em ambas as classes, decisões são tomadas sobre onde localizar facilidades, considerando clientes que devem ser servidos de forma a otimizar um certo critério. Estes problemas, em geral, são de natureza combinatória, pois consistem em selecionar de um conjunto finito de dados o melhor subconjunto que satisfaça determinados critérios. Em geral utilizam-se métodos heurísticos para obter uma solução "satisfatória" para este problema.

No cenário atual de rápido desenvolvimento e o avanço dos sistemas de informação e comunicação, as tecnologias de rede sem fio (*wireless*) têm sido amplamente estudadas, buscando sempre uma melhoria no atendimento das necessidades dos usuários e principalmente na transparência de sua implementação, com a melhor qualidade possível. Segundo Santos Júnior (2004), existe uma tendência moderna de se implantar cada vez mais as redes sem fio, o que é motivada tanto por aspectos da inviabilidade da instalação de redes com fio em certos lugares, quanto pelo barateamento dos equipamentos sem fio e da interoperabilidade oferecida pela tecnologia sem fio. De acordo com Corrêa (2006), a natureza dos dispositivos ubíquos tem elevado o crescimento do uso das tecnologias de rede sem fio, pois fazem dessas uma solução de interconexão mais fácil com ambientes até então inadequados ou então impossíveis de se manter uma comunicação devido à, por exemplo, altos custos e restrições tecnológicas.

Visando uma maior confiabilidade das redes sem fio, surge um novo conceito chamado *Wireless Mesh Networks* ou redes em malha sem fio. Segundo a definição de Albuquerque (2006), redes em malha sem fio são redes sem fio autoconfiguráveis que interconectam um conjunto de nós fixos capazes de rotear pacotes entre si. Este novo tipo de rede dispensa o uso da rede fixa entre os pontos de acesso, que roteiam tráfego, entre si, dinamicamente. Este tipo de rede vem ganhando importância nas pesquisas relacionadas à rede sem fio, pelo simples fato que as redes em malha sem fio ainda é um tema muito recente.

Existem vários projetos pilotos de redes mesh ao redor do mundo. Alguns exemplos são o RoofNet (AGUAYO et al., 2003) no MIT, VMesh (TSARMPOPOULOS et al., 2005) na Grécia, MeshNet (MESHNET, 2006) na UCSB, ReMesh (PROJETO REMESH, 2006) na UFF entre outros.

Neste artigo é proposta uma solução a partir da implementação de heurísticas GRASP, ILS e no método VND para o problema de localização de pontos de acesso em uma rede em malha sem fio, o qual é tratado como um problema de localização de máxima cobertura baseado na estrutura de uma nova rede que será implantada em um *campus* de uma instituição federal de ensino. Assim o objetivo é maximizar a quantidade de usuários atendidos pela rede com um número fixo de pontos de acesso, levando-se em consideração algumas restrições.

O artigo é organizado da seguinte maneira. A Seção 2 contém a descrição do problema abordado. Na Seção 3 são apresentados as duas heurísticas implementadas. Os testes computacionais realizados estão na Seção 4, e na última seção estão as conclusões do trabalho.

2. O problema de localização de pontos de acesso em uma rede em malha sem fio

O planejamento de redes em malha sem fio tem como principal finalidade atender, da melhor forma possível, todos os clientes. Com essa finalidade, o planejamento realizado para

as redes em malha sem fio propõe determinar a quantidade, assim como a localização dos APs, para fornecer cobertura para os clientes e também determinar quais desses APs serão os gateways da rede.

Akyildiz et al. (2005) apresentam um panorama geral das principais definições, características e aplicações de redes em malha sem fio.

Em (SEN; RAMAN, 2007), o planejamento de redes em malha sem fio é feito para um conjunto de vilas que devem ser equipadas com conectividade de rede de um nó fixo. O objetivo é determinar o custo mínimo, a fim de atender às condições de taxa de transferência, potência e interferência no enlace entre nós.

Em (BADIA et al., 2008), o planejamento origina-se a partir de um grafo $G(N, E)$, em que N é o conjunto de roteadores e E suas respectivas ligações. A finalidade é pesquisar o roteamento em conjunto com a atribuição na entrega de um pacote de dados de um nó da rede a outro nó específico, sujeito às condições de fluxo, compatibilidade e interferência que são encontradas na rede.

Cabral e Mateus (2009) formularam um planejamento da rede que consiste em atender à demanda dos clientes, tendo em vista o custo mínimo de instalação para fornecer o roteamento entre nós clientes e gateways. Foi utilizado um modelo de programação matemática que tem como preferência a minimização dos custos de instalação, de utilização dos APs e do enlace entre eles.

Em (BENYAMINA et al., 2009), o planejamento de redes em malha sem fio é realizado por meio de um grafo que representa uma malha, enumerando quais são os APs que deverão atender a determinados clientes da rede, levando em consideração as prováveis falhas de um dos APs, a ponto de não comprometer o funcionamento do restante da rede. O trabalho propõe um problema de programação matemática inteira e biobjetiva, que tem como objetivo garantir a conectividade da rede, visando valores de throughput e perda de pacotes satisfatórios.

Em (AMALDI et al., 2008), o planejamento de redes em malha sem fio é tratado de forma semelhante ao de outras redes, como celulares e redes sem fio comuns, pois estas são planejadas de forma geográfica, em que o posicionamento e as configurações dos APs dependem apenas das condições de conectividade local entre os clientes e o dispositivo de rede mais próximo. Considerando um conjunto de possíveis pontos para instalação de dispositivos (roteadores e *gateways*) e um conjunto de nós clientes, os autores propuseram um modelo de programação linear inteira, em que o objetivo é minimizar o custo total de instalação, otimizando a quantidade e o posicionamento dos roteadores e *gateways* e suas respectivas atribuições de canal, considerando os requisitos de local e de conectividade multi-salto.

Cabral (2008) declara como meta para o planejamento de redes em malha sem fio, determinar a quantidade de meios necessários para atender à demanda considerada para os clientes. Dentro desse processo, são adotadas algumas variáveis para o planejamento, tais como: topologia da rede, mobilidade, modelo de tráfego, custo e capacidade. Valores são atribuídos aos nós para a capacidade de comunicação da rede e existem restrições de energia associadas aos clientes. Diante disso, um modelo de programação matemática foi elaborado, com a finalidade de encontrar a topologia ótima para um conjunto fixo de clientes, roteadores e *gateways*. A função objetivo visa minimizar a soma de custos de instalação e dos custos de

enlaces entre clientes e roteadores, com o intuito de atender às demandas dos clientes. As restrições buscam garantir que o modelo atenda em primeiro lugar às demandas impostas pelos clientes, de acordo com as limitações de roteadores, interfaces e enlaces disponíveis.

As redes em malha sem fio possuem como principais componentes os pontos de acesso, conhecidos como APs e os clientes, que podem ser celulares, *tablets*, *notebooks* ou qualquer equipamento que possua comunicação sem fio. Os APs podem ser classificados como roteadores ou *gateways*. Os roteadores possuem várias interfaces de rede e se comunicam para manter a conectividade da rede e em geral utilizam a tecnologia multissalto, que transmite a informação desejada de AP a AP até alcançar o cliente desejado. Os *gateways* são APs conectados à rede cabeada e provêm o acesso à *internet* e podem permitir também que a rede em malha sem fio possa ser integrada a outras redes sem fio.

A Figura 1 apresenta o leiaute de uma rede em malha sem fio, onde existe apenas um ponto de acesso designado como *gateway*, o qual tem saída direta para a *internet*; ele é o único ponto de acesso que é conectado através de cabo, os pontos de acesso restantes funcionam como roteadores e estão conectados sem fios entre si.

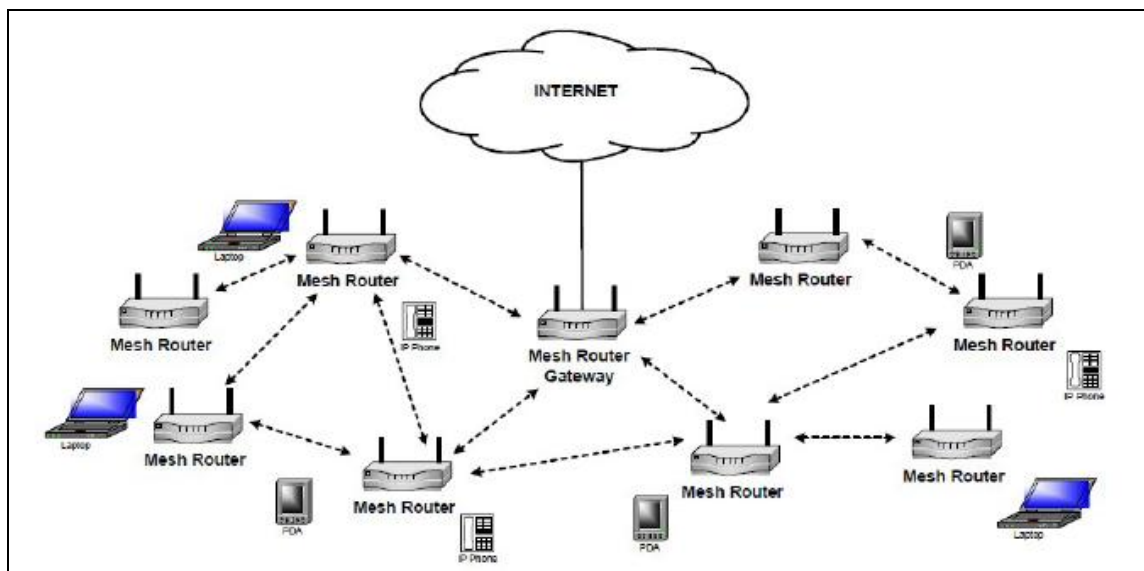


Figura 1 Leiaute de uma rede em malha sem fio. Fonte: Saade et al. (2007)

Dado um número fixo de clientes e os possíveis locais em que os APs podem ser alocados, o planejamento de redes em malha sem fio tem como principal objetivo atender, da melhor maneira possível a máxima quantidade de clientes. Para isto, procura-se determinar o número e a localização de APs necessários para prover a cobertura desejada e quais destes APs deverão ser *gateways*. O problema considera os seguintes pontos:

- a quantidade máxima de clientes que cada AP atenderá;
- distância máxima permitida entre o AP e o cliente atendido (a fim de se obter uma determinada qualidade no sinal oferecido pelo AP);
- distância máxima entre dois APs, caso os mesmos estejam interconectados (garantia mínima de qualidade do sinal que um determinado AP oferecerá ao outro AP);

- redundância nos *gateways* (para garantir que quando acontecer um problema com um dos *gateways*, o outro garantirá o acesso do cliente a internet);
- cálculo da porcentagem de persistência da rede, caso um determinado nó caia;
- quantidade fixa de APs.

Neste trabalho consideram-se antenas transmissoras onidirecionais, irradiando o sinal igualmente em todas as direções. Todas as antenas possuem o mesmo custo e o mesmo alcance de transmissão.

2.1 Cálculo da Porcentagem de Persistência da Rede em Malha sem Fio

O objetivo da persistência na rede em malha sem fio é evitar que quando um nó cair, todo o resto da rede não fique inoperante, já que todos os nós da rede são interligados entre si. O procedimento utilizado no presente trabalho para fazer o cálculo da persistência da rede consiste em remover um ponto da solução, ou seja remover um ponto do vetor de pontos escolhidos e verificar se toda a rede ainda continua interligada. Caso a resposta seja positiva, o valor de erro igual a zero; caso contrário retorna um valor que é convertido na porcentagem da rede que ficou fora da interligação. Por meio desse procedimento, que é baseado na árvore geradora mínima (ASSUNÇÃO, 2004), é possível saber qual a porcentagem média da persistência da rede em malha sem fio. É importante ressaltar que o cálculo da persistência não leva em consideração os usuários. No caso de um nó cair, não existe a garantia de que os usuários que estavam conectados a esse nó continuem sendo atendidos por outro nó, a preocupação maior é saber se com aquele nó fora, boa parte da rede também não fique fora.

3 Heurísticas Propostas

No presente trabalho serão propostos os métodos heurísticos baseados nas metaheurísticas GRASP, ILS e no método VND para resolver o problema abordado. Serão propostas duas implementações, uma baseada na metaheurística GRASP e no método VND e outra baseada na metaheurística ILS e no método VND. As heurísticas desenvolvidas foram chamadas de **GRASP+VND** e **ILS+VND**.

3.1 Implementação baseada em GRASP

Segundo Feo e Resende (1995), GRASP é uma heurística de múltiplas partidas, na qual cada iteração consiste de duas fases: construção e busca local. O objetivo para gerar as primeiras soluções é fazer com que o método busque através de um algoritmo guloso randomizado. Na segunda fase, essa solução inicial gerada na primeira fase é melhorada através de um método de busca local. A Figura 2 apresenta o pseudocódigo básico de uma heurística GRASP.

```
Procedimento GRASP  
01    $s^* \leftarrow \emptyset$ ;  
02   Para  $n$  de 1 até  $MaxIter$  faça  
03       Aplicar procedimento de construção guloso  
         aleatorizado para obter uma solução viável  $s^0$ ;  
04       Aplicar busca local em  $s^0$  gerando uma  
         nova solução  $s'$ ;  
05       se  $f(s') > f(s^*)$  então  
06            $s^* \leftarrow s'$ ;  
07   Fim Para  
08   Retornar  $s^*$ ;
```

Figura 2. Pseudocódigo GRASP.

No pseudocódigo acima, o primeiro passo é fazer com que a solução final seja inicializada. O segundo passo é criar um laço onde a quantidade de vezes que esse laço será executado é definido pela variável $MaxIter$. O terceiro passo é a geração de uma solução inicial s_0 . O quarto passo é aplicar o método de busca local na solução inicial s_0 , obtendo uma nova solução s' . No passo 5 a qualidade da solução s' é comparada com a qualidade da solução final s^* , se for melhor, a solução final s^* receberá o valor da solução s' . Por fim, o algoritmo retorna o valor da solução final s^* .

3.1.2 Fase de Construção

Duas etapas foram utilizadas para se determinar uma solução inicial para o problema de localização de pontos de acesso em uma rede em malha sem fio: a primeira, totalmente aleatória e logo após, a fim de se refinar a solução inicial, aplica-se o algoritmo proposto por Teitz e Bart (1968). Este método baseia-se na substituição de vértices e seu objetivo é, a partir de uma solução inicial, melhorar o valor da função objetivo a cada iteração. É importante ressaltar que apesar da aleatoriedade do método não garantir a obtenção da melhor solução, esse fator se justifica, pois permite que o método obtenha uma maior diversidade de soluções, a qual é necessária em heurísticas GRASP.

3.1.3 Fase de Busca Local

Como é o caso de muitos métodos determinísticos, a solução gerada pela fase de construção GRASP não é garantida ser uma solução ótima, então quase sempre é útil empregar uma busca local para tentar melhorar cada solução construída. Enquanto tais procedimentos de otimização local podem requerer tempo exponencial a partir de um ponto inicial arbitrário, empiricamente sua eficiência significativamente melhora quando a solução inicial melhora.

De forma geral, em problemas de otimização, os métodos de busca local formam um conjunto de técnicas baseadas em vizinhança, isto é, os métodos passam de uma solução para outra de forma iterativa, percorrendo todo o espaço de pesquisa. Na fase de busca local, o

vetor da solução inicial gerado na fase de construção é alterado, de modo que todos os valores dentro da vizinhança sejam usados.

As Subseções 3.1.3.1 e 3.1.3.2 descrevem as duas estruturas de vizinhança propostas.

3.1.3.1 Vizinhança TROCA1

A ideia da vizinhança **TROCA1** é gerar uma nova solução por meio de combinações e trocas de facilidades, isto é a substituição de facilidades que estão sendo utilizadas com as que não estão sendo utilizadas, respeitando as restrições impostas.

A Figura 3 mostra um exemplo de movimento na vizinhança TROCA1. Nota-se que cada facilidade é representada por um par que indica a sua posição na matriz.

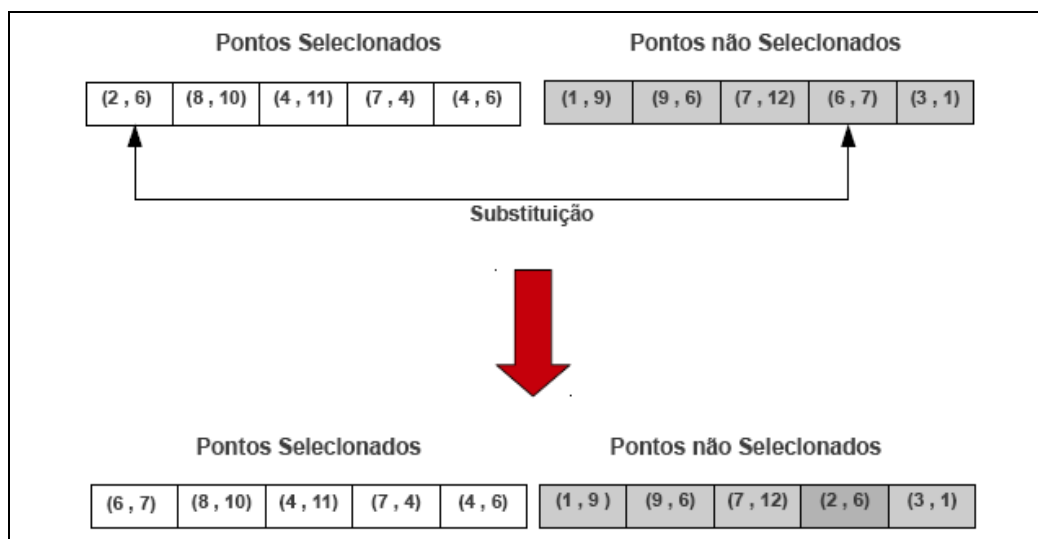


Figura 3 Vizinhança TROCA1

É possível visualizar na Figura 3 que uma facilidade aberta (branca) é substituída por uma facilidade fechada (cinza), gerando uma nova solução.

3.1.3.2 Busca Local TROCA2

A vizinhança TROCA2 é uma extensão da TROCA1, na qual duas facilidades abertas são trocadas, por vez, por duas fechadas. A Figura 4 exemplifica a TROCA2.

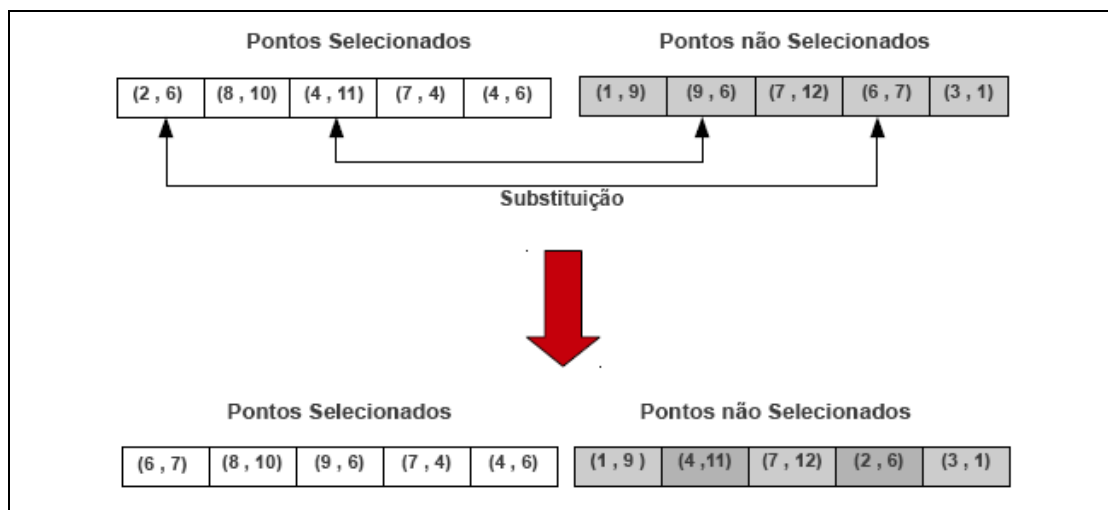


Figura 4 Vizinhança TROCA2

3.1.4 Heurística GRASP+VND

A heurística GRASP+VND utiliza o método construtivo descrito na Subseção 3.1.2 e para a fase de Busca Local foi utilizado um algoritmo baseado no método VND, o qual utiliza as vizinhanças TROCA1 e TROCA2.

3.2 Implementação baseada em ILS

O método *Iterated Local Search* (ILS), ou Busca Local Iterada, é uma metaheurística muito empregada em problemas de localização que foi proposta por Lourenço *et al.* (2003). O seu principal foco é buscar num subconjunto definido, soluções que são ótimas locais de um determinado mecanismo de otimização. Em geral quatro componentes básicos são necessários para uma implementação básica de ILS: uma solução inicial, um procedimento de busca local, uma estratégia de perturbação e um critério de aceitação. O pseudocódigo genérico de um algoritmo da metaheurística ILS pode ser visualizado na Figura 5.

```
Procedimento ILS  
01   Gere uma solução inicial  $s_0$ ;  
02    $s^* \leftarrow$  Busca_local ( $s_0$ );  
03   Enquanto critério de parada não for satisfeito faça  
04       Aplicar perturbação e busca local em  $s^*$  gerando  $s'$ ;  
05       Se critério de aceitação for satisfeito então  
06            $s^* \leftarrow s'$ ;  
07   fim enquanto;  
08   Retorne  $s^*$   
Fim Procedimento.
```

Figura 5: Pseudocódigo ILS.

O algoritmo ILS inicializa gerando uma solução inicial s_0 ; em seguida um método de busca local é aplicado à solução inicial gerada, obtendo assim um ótimo local s^* . A partir dessa solução, um processo iterativo é iniciado e só termina quando algum critério de parada seja satisfeito. Cada vez que o laço é executado (linhas 3 a 7), a solução s^* passa por uma perturbação seguida de um procedimento de busca local, gerando uma nova solução s' . Essa solução é submetida a um critério de aceitação e se o critério for satisfeito atribui-se o valor da solução s' a s^* .

3.2.1 Fase de Construção

A ideia central do algoritmo de construção desenvolvido para a heurística ILS é criar uma solução inicial com características gulosas. O primeiro passo é gerar uma solução em forma de vetor com p pontos (locais escolhidos para a localização do AP) selecionados a partir de uma matriz de possíveis pontos candidatos AP_{ij} . Essa solução é gerada seguindo os seguintes princípios: o primeiro ponto selecionado na matriz AP_{ij} para compor o vetor é o melhor ponto da matriz, ou seja, o ponto que atende a maior quantidade de clientes; a partir deste ponto os outros pontos do vetor são escolhidos da mesma forma, sempre respeitando as restrições impostas pelo problema. É importante ressaltar que a cada ponto escolhido, os clientes atendidos por estes pontos são retirados da matriz de clientes. Logo após aplica-se o algoritmo proposto por Teitz e Bart (1968).

3.2.2 Perturbação e Critério de Aceitação

O módulo de perturbação é responsável por gerar uma nova solução, modificando uma solução corrente. Ela deve ser suficientemente forte para permitir que a busca local explore novas regiões promissoras, mas também não tão fraca para não se tornar um processo de um

reinício aleatório. A perturbação utilizada consiste em fazer a cada iteração, um movimento de substituição de três facilidades abertas, selecionadas de forma aleatória na matriz de possíveis pontos AP_{ij} por três facilidades fechadas aleatórias no vetor de pontos selecionados.

O critério de aceitação consiste em trocar a solução corrente pela solução candidata se a quantidade de clientes que a solução atender for maior ou igual a quantidade de clientes atendidos anteriormente.

3.2.3 Heurística ILS+VND

A heurística **ILS+VND** utiliza o método construtivo descrito na Subseção 3.2.1 e para a fase de Busca Local foi utilizado um algoritmo baseado no método VND, o qual utiliza as estruturas de vizinhança **TROCA1** e **TROCA2**. Aplicam-se a perturbação e o critério de aceitação descrito na Subseção 3.2.3.

4. Testes Computacionais

As heurísticas foram programadas na linguagem Python e os experimentos computacionais foram realizados em um *notebook* com processador Core 2 Duo 2.6 Ghz com 4 GB de RAM.

4.1. Geração dos problemas testes

Para testar as heurísticas desenvolvidas, foram gerados 4 GRUPOS de problemas:

- GRUPO 1: Problema gerado baseado na rede em malha sem fio que será instalada, onde as soluções ótimas não são conhecidas. Neste problema, número de APs, locais potenciais e clientes foram gerados estrategicamente com o objetivo de obter problemas difíceis de resolver.
- GRUPO 2, 3 e 4: Os problemas gerados de forma aleatória, com um número maior de APs, de locais potenciais e clientes, onde as soluções ótimas também não são conhecidas.

Cada grupo citado é formada por 3 cenários diferentes, onde se varia o número de usuários e o número de APs, como pode ser observado na Tabela 1.

Cenário	GRUPO 1		GRUPO 2		GRUPO 3		GRUPO 4	
	APs	Clientes	APs	Clientes	APs	Clientes	APs	Clientes
A	10	150	20	300	30	450	40	600
B	13	150	25	300	38	450	50	600
C	15	150	30	300	45	450	60	600

Tabela 1 Instâncias utilizadas para teste das heurísticas

Nos testes computacionais realizados a seguir são comparados os desempenhos das heurísticas **GRASP+VND** e **ILS+VND** em todos os cenários. As heurísticas são executadas 5 vezes por t segundos, sendo que a quantidade de segundos é diretamente proporcional ao tamanho da instância.

4.2. Apresentação dos resultados

Na Tabela 2 são apresentadas a quantidade de usuários atendidos que as heurísticas **GRASP+VND** e **ILS+VND** obtiveram para cada um dos cenários, assim como a porcentagem de usuários que cada heurística conseguiu atender. Exceto no cenário **A1**, em

todos os demais cenários testados, a heurística **GRASP+VND** foi superior à heurística **ILS+VND**, atendendo inclusive o número máximo de usuários em três dos cenários.

	Cenário	GRASP + VND	% de usuários atendidos	ILS + VND	% de usuários atendidos
Grupo 1	A1	113	75,33	123	82,00
	B1	139	92,67	137	91,33
	C1	150	100,00	147	98,00
	Média	-	134	89,33	136
Grupo 2	A2	243	81,00	235	78,33
	B2	295	98,33	278	92,67
	C2	300	100,00	291	97,00
	Média	-	279	93,11	268
Grupo 3	A3	391	86,89	385	85,56
	B3	444	98,67	432	96,00
	C3	450	100,00	443	98,44
	Média	-	428	95,19	420
Grupo 4	A4	521	86,83	511	85,17
	B4	587	97,83	578	96,33
	C4	594	99,00	587	97,83
	Média	-	567	94,56	559

Tabela 2 Melhores resultados obtidos pelas heurísticas

Na Tabela 3 são apresentadas as médias da quantidade de usuários atendidos por cada uma das heurísticas, assim como a porcentagem dos mesmos.

	Cenário	GRASP + VND	% de usuários atendidos	ILS + VND	% de usuários atendidos
Grupo 1	A1	111	74,00	111	74,00
	B1	132	88,00	129	86,00
	C1	144	96,00	141	94,00
Média	-	129	86,00	127	84,67
Grupo 2	A2	238	79,33	229	76,33
	B2	281	93,67	274	91,33
	C2	293	97,67	287	95,67
Média	-	271	90,22	263	87,78
Grupo 3	A3	379	84,22	385	85,56
	B3	428	95,11	411	91,33
	C3	439	97,56	427	94,89
Média	-	415	92,30	408	90,59
Grupo 4	A4	515	85,83	505	84,17
	B4	569	94,83	560	93,33
	C4	581	96,83	567	94,50
Média	-	555	92,50	544	90,67

Tabela 3 Média dos resultados obtidos pelas heurísticas

É possível observar que exceto no cenário **A1**, onde as duas heurísticas obtiveram o mesmo resultado, em todos os cenários testados, a heurística **GRASP+VND** foi superior a heurística **ILS+VND**, chegando a uma diferença de até 5,67% dos usuários atendidos.

A Tabela 4 apresenta, os resultados referente a porcentagem de persistência da rede em malha sem fio. São apresentados os melhores e a média dos resultados.

	Cenário	Melhores Resultados		Média	
		GRASP + VND	ILS+VND	GRASP + VND	ILS+VND
Grupo 1	A1	85	85	83	82
	B1	90	88	86	83
	C1	87	86	85	84
	Média	-	87	86	85
Grupo 2	A2	89	85	86	82
	B2	91	92	88	89
	C2	94	93	93	90
	Média	-	91	90	89
Grupo 3	A3	94	93	92	88
	B3	96	93	93	89
	C3	97	95	95	92
	Média	-	96	94	93
Grupo 4	A4	92	92	89	89
	B4	94	93	92	90
	C4	97	96	95	92
	Média	-	94	94	92

Tabela 4 Melhores resultados e média dos resultados do cálculo de persistência.

É possível observar que a porcentagem de persistência se eleva a partir do momento em que a quantidade de APs também se eleva. Em relação aos melhores resultados, o maior nível pode ser visualizado no **Cenário C** dos **Grupo 3 e 4**, onde a heurística **GRASP+VND** alcança um percentual de 97% de persistência da rede. Na análise feita por grupo, a heurística **GRASP+VND** se sobressaiu em todos os cenários. Em relação a média dos resultados, é possível observar que o maior nível de persistência pode ser visualizado no cenário **C4** onde a heurística **GRASP+VND** alcançou um percentual de 95% do nível de persistência da rede. Na análise feita por grupo a heurística **GRASP+VND** se sobressaiu mais uma vez.

5. Conclusões

As heurísticas **GRASP+VND** e **ILS+VND** foram aplicadas para resolver quatro grupos de problemas. Os resultados computacionais mostraram que a heurística **GRASP+VND** foi superior a versão **ILS+VND**, tanto na quantidade de usuários atendidos quanto na porcentagem de persistência da rede em malha sem fio.

Os resultados foram analisados por um especialista da área, e foram considerados bem promissores para a instância baseada na rede em malha sem fio que será implantada.

Referências

- AGUAYO, D., BICKET, J., BISWAS, S., COUTO, D., MORRIS, R. (2003), *MIT Roofnet Implementation*. Disponível em: <http://pdos.lcs.mit.edu/roofnet/design/>.
- AKYILDIZ, I. F.; WANG, X.; WANG, W. (2005), *Wireless mesh networks: a survey*. *Computer Networks*, vol. 47, pp. 445-487.
- ALBUQUERQUE, C. *Estendendo os limites de redes Wi-Fi tradicionais*. RNP, Rio de Janeiro, 2006. Disponível em <http://www.rnp.br>. Acessado em Janeiro de 2011.

- AMALDI, E.; CAPONE, A.; CESANA, M.; FILIPPINI, I.; MALUCELLI, F.** (2008), *Optimization Models and Methods for Planning Wireless Mesh Networks*. Computer Networks, vol. 52, pp. 2159-2171.
- ASSUNÇÃO, R.M.; LAGE, J.P.; A.REIS, E.; SILVA, P.L.N.** *Análise de conglomerados espaciais via árvore geradora mínima*. Revista Brasileira de Estatística, v.63, p.7-24, 2004.
- BADIA, L.; BOTTA, A.; LENZINI, L.** *A genetic approach to joint routing and link scheduling for wireless mesh networks*. Ad Hoc Networks, v. 7, p. 654-664, 2009.
- BENYAMINA, D.; HAFID, A.; GENDREAU, M.** *On the Design of Bi-connected Wireless Mesh Network Infrastructure with QoS Constraints*. IEEE GLOBECOM, pp. 5307-5312, 2008.
- CABRAL, G. A.** *Uma arquitetura para otimização de acesso à Internet em redes em malha sem fio*. Dissertação de Mestrado. Belo Horizonte, UFMG, 2008.
- CABRAL, G. A.; MATEUS, G. R.** *Uma abordagem baseada em simulação para o planejamento de redes em malha sem fio*. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL (SBPO) 41., 2009, Porto Seguro. Anais... Porto Seguro: UNIFACS, 2009.
- CORRÊA, U., PINTO, A., CODAS, A., FERREIRA, D., MONTEZ, C.** (2006), *Redes Locais Sem Fio: Conceitos e Aplicações*, In: IV Escola Regional de Redes de Computadores. Passo Fundo.
- FEO, T. A., RESENDE, M. G. C.,** *Greedy randomized adaptive search procedures*. Journal of Global Optimization 6, 109-133, 1995.
- LOURENÇO, H. R., MATRIN, O. C., STÜTZLE, T.,** *Iterated Local Search*. Handbook of Metaheuristics, Kluwer Academic Publishers, 2003.
- MESHNET.** (2005), *Santa Barbara Mesh Network*. Disponível em <http://moment.cs.ucsb.edu/meshnet>
- PROJETO REMESH.** (2006), Projeto ReMesh – UFF – RNP. *Rede Mesh de Acesso Universitário Faixa Larga Sem Fio*. Disponível em: <http://mesh.ic.uff.br>.
- SAADE, D., ALBUQUERQUE, C., MAGALHÃES, L., PASSOS, DUARTE, D., VALLE, R.** (2007) *Redes em Malha: Solução de Baixo Custo para Popularização do Acesso à Internet no Brasil*, XXV Simpósio Brasileiro de Telecomunicações, SBRT.
- SEN, S.; RAMAN, B.** (2007), *Long Distance Wireless Mesh Network Planning: Problem Formulation and Solution*. WWW '07: Proceedings of the 16th international conference on World Wide Web, New York, pp. 893-902.
- TEITZ, M.B.; BART, P.** (1968), *Heuristic Methods for Estimating the Generalized Vertex Median of a Weighted Graph*, Operations Research, 16: 955-961.
- TSARMPPOULOS, N., KALAVROS, Y., LALIS, S.,** (2005), *A Low Cost and Simple-to-Deploy Peer-to-Peer Wireless Network based on Open Source Linux Routers*. In: Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores.
- SANTOS JÚNIOR, A.** *Wireless lan - padrão 802.11*. Monografia, Universidade Estadual de Londrina. Londrina, 2004.