

HEURÍSTICAS GRASP PARA O PROBLEMA DE ALOCAÇÃO DE PONTOS DE ACESSO EM UMA REDE SEM FIO EM AMBIENTE *INDOOR*

Rebeca Marcilio Araújo Capdeville Campanha

UCAM – Unidade Campos dos Goytacazes/RJ
Rua Anita Peçanha, 100 – CEP 28.030-335, Campos dos Goytacazes – RJ
raraujo@iff.edu.br

Dalessandro Soares Vianna

UFF/PURO - Departamento de Computação
Rua Recife, s/n – CEP 28.890-000, Rio das Ostras – RJ
dalessandrosoares@yahoo.com.br

Resumo

Neste trabalho são propostas duas implementações de heurística GRASP para resolver o problema de localização de pontos de acesso em uma rede sem fio *indoor* que será implantada em uma instituição federal de ensino, visando cobrir uma maior área possível de atendimento para uma determinada quantidade de usuários. Este é um problema comum enfrentado durante a implantação de redes de comunicação em ambientes em que a instalação de redes fixas cabeadas tornam-se inviáveis e caras devido a mudanças na estrutura local. O modelo é baseado nos problemas de localização de facilidades e para desenvolvê-lo foi necessário observar conceitos de rádio frequência cruciais para determinar a qualidade do sinal recebido pelos clientes. De forma a avaliar a aplicabilidade e a eficiência destes algoritmos, são apresentados resultados de experimentos computacionais realizados a partir de quatro conjuntos de problemas.

Palavras-chave: GRASP, redes *wireless*, problema de localização de facilidades

Abstract

This work proposed two implementations of GRASP heuristics to solve the problem of locating access points in an indoor wireless network that will be deployed on a federal educational institution in order to cover a large surface area of service for a certain amount of users. This is a common problem faced during the deployment of communication networks in environments where the installation of fixed wired networks becomes unmanageable and expensive due to changes in local structure. The model is based on the facility location problems and to develop it was necessary to observe radio frequency concepts crucial to determinate the signal quality received by clients. In order to evaluate the applicability and efficiency of the algorithms are presented results of computational experiments performed using four sets of problems.

Key-words: GRASP, wireless networks, facility location problems

1. Introdução

A tecnologia de redes locais sem fio (*Wireless LAN* ou *WLAN*) tem se tornado componente crucial das redes de comunicação de computadores e observa-se um crescimento a largos saltos de sua utilização. Graças à aprovação do padrão IEEE 802.11 em 1997, a tecnologia *wireless* saiu de um ambiente de implementação restrito para se tornar uma solução ampla e aberta de provimento de mobilidade em todo tipo de cenário. Desta forma, empresas estão investindo alto em redes *wireless* para tirar vantagem da facilidade de acesso móvel em tempo real às informações.

Com a diminuição do custo, aumento da confiabilidade e praticidade da implantação de redes sem fio, em relação às estruturas fixas cabeadas, é crescente a utilização dessa tecnologia nas redes de comunicação de dados.

Diante deste crescimento acelerado, considera-se que a implantação de tecnologia de comunicação *wireless* é uma boa alternativa para locais em que a paralisação das atividades em virtude de obras durante o período de implantação de redes fixas cabeadas torna-se impossível. Além disso, redes *wireless* são ideais para empresas e instituições onde a verba que custeia o projeto e a aquisição do material a ser utilizado é limitada. Perante a limitação de recursos, se faz necessário desenvolver alternativas de distribuição de pontos de transmissão que, em um cenário ideal, atenda a uma determinada demanda de usuários garantindo-lhes um sinal de qualidade.

O planejamento adequado da localização dos pontos de acesso – também conhecidos como *Access Points*, ou simplesmente *APs* – e antenas transmissoras de sinal é vital para assegurar o funcionamento adequado do sistema de comunicação. Contudo as variáveis envolvidas para tomada desta decisão tornam o problema complexo. Segundo Najnudel (2004), para garantir o bom funcionamento de uma rede *wireless* em um ambiente fechado (*indoor*) deve-se levar em consideração, de forma geral, as seguintes variáveis de decisão: o posicionamento e a quantidade de concentradores para escoar o tráfego de utilização, a frequência de funcionamento dos dispositivos, a interferência exercida pelos obstáculos encontrados no local, a polarização e a diversidade das antenas.

Decisões sobre a melhor configuração para instalação de facilidades destinadas ao atendimento da demanda de uma população são tratadas em uma ampla classe de problemas, conhecida como Problemas de Localização (DREZNER, 1995). O termo “facilidades” pode ser atribuído a depósitos, escolas, postos de saúde, lojas, antenas de transmissão, entre outros. A facilidade deverá interagir com outros elementos que possuem localização fixa. As aplicações para os problemas de localização de facilidades têm despertado interesse tanto no setor público quanto na iniciativa privada, pois auxilia planejadores a tomar decisões mais acertadas visando reduzir custos com investimentos e maximizar satisfação dos clientes, qualidade do serviço prestado, lucro, dentre outros aspectos.

De acordo com o objetivo desejado, duas grandes classes de problemas de localização podem ser definidas, a classe dos problemas de cobertura que enfoca a distância máxima entre qualquer cliente e a facilidade designada para atendimento, e a classe dos problemas de localização de medianas que trata da minimização de distâncias médias ou totais, entre os clientes e os centros de atendimento (facilidades). Em ambas as classes decisões são tomadas sobre onde localizar facilidades, considerando clientes que devem ser servidos de forma a otimizar um certo critério.

Os problemas de localização de facilidades são, em sua maioria, pertencentes à classe NP-difícil (GAREY & JOHNSON, 1979), ou seja, são problemas complexos de natureza combinatória para os quais não se conhecem algoritmos polinomiais capazes de obter a solução exata, o que exige grande esforço computacional de algoritmos exatos. Esta complexidade tem motivado a busca por heurísticas com o intuito de alcançar melhores resultados em um menor tempo computacional.

Neste trabalho são propostas duas heurísticas GRASP para o problema de localização de pontos de acesso de transmissão de internet *wireless* em ambiente *indoor*, aplicado a um projeto de implantação de rede sem fio em pontos críticos de um *campus* de uma instituição federal de ensino, sendo o problema modelado como um Problema de Localização de Máxima Cobertura (*PLMC*).

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 são apresentados na Seção 4, e na última seção encontram-se as conclusões do trabalho.

2. O problema de localização de antenas

A antena é um elemento vital para o bom funcionamento de sistemas de rádio comunicação como telefonia celular, TV e internet sem fio, por isso sua localização adequada garante a melhora e a qualidade do sinal transmitido, determinando sua cobertura. Embora o problema de localização de antenas de transmissão seja um problema antigo, sua abordagem científica começou a receber um maior enfoque recentemente.

A solução proposta por Hoffman & Gómez (2003) aborda o problema de posicionamento de torres de radiotransmissão, num dado terreno. Nesse trabalho o problema é modelado como *PLMC* utilizando métodos de localização-alocação e busca tabu procurando-se maximizar, dado um número fixo de antenas, o número de clientes receptores de sinal que podem possuir prioridades diversas de atendimento. Embora seja uma solução interessante, não prevê a aproximação das antenas dos pontos de atendimento. Além disso, a solução considera apenas a dinâmica do terreno, não avaliando a presença de elementos que possam interferir no sinal transmitido, o que, em muitos casos, inviabiliza a aplicação do modelo.

Em seu trabalho, Marques (2007) desenvolveu duas heurísticas diferentes para solucionar o problema de localização de antenas de transmissão em ambiente *outdoor*, GRASP e Algoritmo Genético. O autor procurou aproximar mais o modelo matemático das situações reais, onde em muitos casos é desconhecido o número de facilidades a serem instaladas e considera-se restrições como altura dos obstáculos e alcance dos equipamentos de telecomunicações. A modelagem dos obstáculos foi feita na forma de paralelepípedo, porém somente obstáculos densos como montanhas são considerados.

Posteriormente, Siliprande (2009) propôs um modelo genérico desenvolvendo um Algoritmo Genético para solucionar o problema de localização de antenas de internet *wireless* tendo como cenário os limites do município de Itaperuna - RJ. Para tratar o problema foi proposto um modelo de programação linear multi-objetivo modelado como *PLMC*. O modelo foi desenvolvido utilizando conceitos de rádio transmissão em ambientes abertos (*outdoor*) para definir o alcance máximo da antena e evitar obstáculos interferentes. Os objetivos do modelo foram minimizar a distância mínima entre cada ponto de demanda e a antena instalada num determinado local; maximizar a cobertura e minimizar custos com instalação de antenas.

Como se pode perceber, atualmente o problema de localização de antenas de radiotransmissão é amplamente discutido, entretanto, pouco se encontra sobre localização de antenas em ambiente *indoor*. Alguns trabalhos dão enfoque somente aos aspectos de radiotransmissão, como perda de penetração em obstáculos, movimentação de pessoas no ambiente, coeficiente de perda de propagação com a distância, efeitos de difração, reflexão e refração, porém, não levam em consideração a otimização da localização das antenas de maneira a minimizar custos com sua instalação e maximizar a cobertura. Dentre estes trabalhos, podem se citados os de Rudd (2002), Laselva (2003) e Najnudel (2004).

Ao se planejar uma rede *WLAN* é necessário levar em consideração alguns conceitos básicos de rádio transmissão como: ganho, frequência, polarização do sinal, diversidade de antenas e interferências; além disso, é importante observar outros dois fatores importantes para propagação do sinal: quantidade e posicionamento de concentradores para garantir a

qualidade do sinal e o escoamento do tráfego pretendido.

Uma das grandes dúvidas ao se montar uma rede *wireless* é o alcance do sinal, um fator que varia imensamente em função dos obstáculos encontrados pelo caminho e a qualidade das antenas utilizadas. De acordo com os fabricantes, o alcance pretendido para as redes *wireless* é de 30 metros em ambientes fechados e de 150 metros em ambientes abertos. No entanto estes são valores estimados obtidos através de testes padronizados, o que não garante um cenário real correspondente, pois neste há influência de fatores importantes como: o ganho das antenas instaladas no ponto de acesso e no cliente, a potência dos transmissores, os obstáculos e fontes de interferência presentes no ambiente.

A cobertura de uma área diz respeito ao estabelecimento de comunicação entre os vários pontos que funcionam sob um mesmo sistema de telecomunicações. No caso de redes sem fio a comunicação ocorre através de *APs* que emitem sinal através de um canal pré determinado para que seja feita a comunicação entre ele e os demais equipamentos dos usuários que podem ser estações de trabalho *desktop*, *notebooks*, *tablets* ou celulares.

A Figura 1 apresenta o leiaute da rede sem fio, que consiste em um conjunto de estações de trabalho associadas a um concentrador que por sua vez faz parte de um conjunto de n concentradores, de modo que existam alguns pontos em comum dentro da área de cobertura. Este projeto visa cobrir toda a área existente de maneira que nenhuma estação fique descoberta e nos casos possíveis, a estação possa se deslocar e continuar coberta pela rede *wireless*.

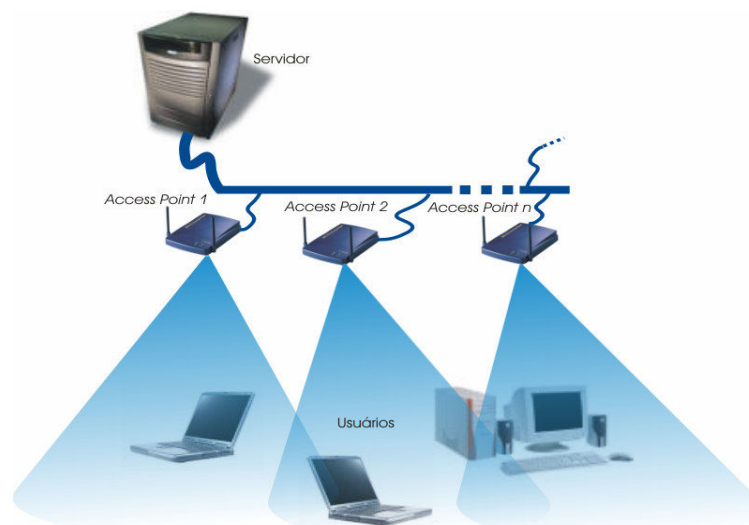


Figura 1. Leiaute de uma rede sem fio.

FONTE: Najnudel (2004)

Para determinar a quantidade de *APs* necessários para atender uma determinada demanda, é muito importante que se faça um dimensionamento do tráfego requerido pelos usuários no interior da área coberta. Para fins deste trabalho, será levado em consideração que cada *AP* utilizado irá atender a, no máximo, 30 clientes com um tráfego padrão para um ambiente corporativo que é de 150 Kbps, normalmente utilizado para aplicações como web, e-mail e transferência de arquivos.

2.1. Propagação em Ambiente Fechado

O estudo da propagação tem como objetivo prever como a energia é transportada ao longo do meio, que, neste caso, é o canal rádio, determinando o comportamento de um enlace de rádio frequência ou da área de cobertura de um sistema de rádio. Para Najnudel (2004) os modelos mais simples de propagação não levam em consideração a existência de obstáculos

no meio, por esta razão é importante se estudar modelos específicos de propagação em ambientes fechados, uma vez que, neste caso, a incidência de obstáculos como divisórias, móveis, janelas ou até mesmo pessoas circulando podem afetar diretamente a eficiência do sinal transmitido. A medição da perda de penetração de ondas eletromagnéticas ao atravessar obstáculos é um grande desafio para profissionais da área de telecomunicações.

A Tabela 1 apresenta valores medidos pelo COST 231 (*European Cooperation in the field of Scientific and Technical Research – Action 231*), obtidos para frequência de 2,4 GHz, para perda de penetração em obstáculos e alcance do sinal após ser interceptado. Estes valores são característicos em ambientes fechados e serão utilizados no modelo *COST 231 Keenan e Motley* (NAJNUDEL, 2004; RUDD, 2002) empregado neste trabalho.

Tabela 1. Perdas de penetração em obstáculos e alcance do sinal medido pelo *European COST 231*

| <i>Obstáculo</i> | <i>Perda Adicional (dB)</i> | <i>Alcance Efetivo</i> | <i>Alcance aproximado</i> |
|-------------------------------------|-----------------------------|------------------------|---------------------------|
| Espaço aberto | 0 dB | 100% | 305 m |
| Janela (tinta não metálica) | 3 dB | 70% | 215 m |
| Janela (tinta metálica) | 5-8 dB | 50% | 150 m |
| Parede média (madeira) | 10 dB | 30% | 100 m |
| Parede espessa (aprox. 15 cm) | 15-20 dB | 15% | 50 m |
| Parede muito espessa (aprox. 30 cm) | 20-25 dB | 10% | 30 m |

Fonte: BreezeNET PRO.11 Series Reference Guide

Para cálculos de atenuação em enlaces em ambientes fechados são utilizados modelos de propagação. No estudo dos mecanismos de propagação, pesquisadores têm procurado estabelecer uma grande variedade de modelos de predição de atenuação. Desta forma, existem dois tipos de modelos de propagação, os modelos teóricos e os modelos empíricos.

Os modelos teóricos, ou determinísticos, não apresentam nenhum tipo de ajuste experimental. Por serem baseados em princípios físicos requerem uma base de dados representativa das características do ambiente em que será aplicado e apresentam algoritmos muito complexos e computacionalmente pesados. Entretanto, em se tratando de ambientes *indoor*, são utilizados em sua grande maioria os modelos de propagação empíricos que possam ser precisos e ao mesmo tempo ter uma expressão analítica simplificada, levando-se em consideração o comportamento aleatório do sinal propagado. São, em geral, de fácil aplicação e necessitam de um tempo computacional relativamente baixo para apresentarem algum resultado (BARIZON, 2004; NAJNUDEL, 2004). Sua precisão depende quase que exclusivamente da qualidade e da exatidão das medições realizadas nos locais em que serão aplicados.

Existe uma ampla quantidade de modelos empíricos tendo como ponto inicial a *Equação de Friis* de atenuação no espaço livre. O modelo de propagação *COST 231 Keenan e Motley*, escolhido para ser utilizado neste trabalho, é considerado o mais completo para predição de sinais em ambientes fechados com existência de obstáculos, pois leva em conta o número exato de paredes e pisos atravessados, bem como o tipo de material que constitui estes obstáculos. Sua expressão matemática (2.1) é bastante abrangente e requer o conhecimento de dados para definir o valor de seus parâmetros de entrada, obtidos através de campanhas de medições em locais específicos em que o modelo será aplicado.

$$L_{total} = L_0 + 10.n.\log(d) + \sum_{i=1}^I k_{f,i} \cdot L_{f,i} + \sum_{j=1}^J k_{w,j} \cdot L_{w,j} \quad (2.1)$$

Onde:

L_{total} – atenuação total do modelo [dB]

L_0 – perda de propagação a um metro da antena irradiante para a frequência determinada [dB]

d – distância percorrida pelo sinal [m]

n – coeficiente de propagação

$L_{f,i}$ – perda de propagação do sinal através do piso i [dB]

$k_{f,i}$ – número de pisos com a mesma característica

$L_{w,j}$ – perda de propagação do sinal através da parede j [dB]

$k_{w,j}$ – número de paredes com a mesma característica

I – número de pisos atravessados pelo sinal

J – número de paredes atravessadas pelo sinal.

Alguns dos valores de perda de penetração em obstáculos já foram apresentados na Tabela 1, nesta Seção.

2.2. Descrição do Problema

Com o intuito de garantir o bom funcionamento do sistema de acesso à *WLAN*, é preciso desenvolver um plano de rede, baseado na melhor localização dos pontos de acesso, de forma que a menor quantidade possível de usuários fique sem acesso efetivo.

No processo de pesquisa e planejamento de locais para implantação dos *APs* no *campus* de uma instituição federal de ensino alguns parâmetros devem ser observados: a fixação dos *Access Points* está restrita apenas às paredes de concreto existentes no local; a quantidade de *APs* é limitada em, no máximo, 05 unidades; a área de atendimento é de 490m²; a existência de uma demanda na área de atendimento de, aproximadamente, 70 clientes a serem atendidos, sendo que aproximadamente 40 clientes fazem uso simultâneo do serviço; e, por fim, a ocorrência de obstáculos estruturais como paredes de concreto e divisórias de madeira e vidro que interceptam o sinal transmitido.

Para verificar a distância que o sinal percorre e quantidade de obstáculos que interferem no sinal transmitido pelo *AP* (facilidade) até seu ponto de atendimento (demanda) foi necessário traçar uma reta ligando os *APs* aos clientes. Após isto, foi necessário fazer o somatório das interferências dos obstáculos que interceptam o sinal e aplicar os resultados obtidos para distância e interferência por obstáculo à expressão matemática (2.1), determinando, desta forma, a potência do sinal recebido em cada ponto de atendimento. Os pontos de demanda são considerados atendidos caso a atenuação total (L_{total}) do sinal recebido por cada um seja maior que -79 dB, que, através de medições, foi considerado um nível aceitável de sinal para que houvesse comunicação de dados efetiva entre os pontos.

3. Heurísticas propostas

O método GRASP (*Greedy Randomized Adaptive Search Procedure*), proposto inicialmente por Feo e Resende (1995), consiste de duas fases: uma fase construtiva, na qual uma solução é gerada através um algoritmo guloso randomizado; e de uma fase de busca local, na qual tenta-se melhor a solução inicial através de busca na vizinhança local que é constituída, geralmente, por movimentos de troca e/ou substituição de candidatos. A melhor solução encontrada ao longo de todas as iterações GRASP realizadas é retornada como resultado. A Figura 2 apresenta o *pseudocódigo* básico de uma heurística GRASP.

```

Procedimento GRASP (Max_Iterações)
01 MelhorSoluçãoFinal  $\leftarrow \infty$ ;
02 Para  $i \leftarrow 1$  até Max_Iterações faça:
03   ConstrutivaAleatóriaGulosa(Solução);
04   BuscaLocal(Solução);
05   Atualiza(Solução, MelhorSoluçãoFinal);
06 Fim_para
07 Retorna (MelhorSoluçãoFinal);
08 Fim GRASP;

```

Figura 2. Pseudocódigo da metaheurística GRASP implementada.

Neste trabalho são propostas duas implementações de heurística GRASP para resolver o problema de localização de pontos de acesso em uma rede sem fio *indoor*. As heurísticas desenvolvidas foram chamadas de **GRASP-TROCA** e **GRASP-DROP** e se diferem pelo método de busca local utilizado. Ambas seguem o pseudocódigo descrito na Figura 2 e recebem como parâmetro o número máximo de iterações (*Max_Iterações*), a cada iteração i o método construtivo gera uma solução inicial aleatória (linha 3) e em seguida essa solução é submetida a um processo de busca local (linha 4), resultando em uma solução ótima local. As heurísticas armazenam a melhor solução encontrada até o momento (linha 5) e como retorno, tem-se a melhor solução obtida após o término da última iteração (linha 7).

3.1. Fase Construtiva

Foram utilizadas duas etapas para determinação de uma solução inicial para o problema apresentado: a primeira, totalmente aleatória e, apesar de não garantir a obtenção da melhor solução, se justifica por permitir que o método obtenha uma maior diversidade de soluções. Logo após, a fim de se refinar a etapa inicial, aplica-se o algoritmo proposto por Teitz e Bart (1968), garantindo a qualidade desta fase e melhorando a eficiência da busca local. Este método baseia-se na substituição de vértices para que se produza melhora no somatório das distâncias entre os clientes e as medianas, e seu objetivo principal é, a partir de uma solução inicial, melhorar o valor da função objetivo a cada iteração.

3.2. Fase de Busca Local

Assim como em muitas técnicas determinísticas, as soluções geradas pela fase de construção do GRASP provavelmente não apresentam resultados localmente ótimos em relação à definição de vizinhança adotada. Daí a importância da fase de busca local que possui o objetivo de melhorar a solução construída. Nesta fase, o vetor da solução inicial gerado na etapa de construção é alterado, de modo que todos os valores dentro da vizinhança sejam testados.

De acordo com Rangel *et al.* (2000), o procedimento de otimização local pode exigir um tempo exponencial se a busca partir de uma solução inicial qualquer, embora se possa constatar empiricamente a melhoria de seu desempenho de acordo com a qualidade da solução inicial. A eficiência da busca local, que objetiva melhorar a solução construída, depende da qualidade da solução inicial gerada.

As Subseções 3.2.1 e 3.2.2 descrevem os dois métodos de busca local propostos.

3.2.1. Busca Local 1

Tem-se uma solução inicial S gerada pela fase construtiva que apresenta um conjunto de facilidades candidatas (C) a pertencer a um conjunto de facilidades localizadas (L).

Gradativamente, a Busca Local 1 determina novas soluções vizinhas S' trocando as facilidades $c \in C$ por facilidades $l \in L$, enquanto resultarem em um máximo acréscimo da função objetivo. O algoritmo é então finalizado quando nenhuma facilidade a ser trocada possa melhorar a solução corrente S , ou seja, quando é obtido um ótimo local.

A Busca Local 1 é utilizada na heurística denominada neste trabalho como **GRASP-TROCA** e é aplicada imediatamente após a fase construtiva descrita na Seção 3.1.

3.2.2. Busca Local 2

Na Busca Local 2, analogamente à Busca Local 1, tem-se uma solução inicial S gerada pela fase construtiva que apresenta um conjunto de facilidades candidatas (C) a pertencer a um conjunto de facilidades localizadas (L).

A Busca Local 2 retira (fechar) gradativamente uma facilidade localizada $l \in L$ e realiza a troca entre uma facilidade localizada e uma facilidade candidata enquanto houver melhora na solução corrente S . O algoritmo é finalizado quando um ótimo local é obtido. Esta heurística foi baseada no método desenvolvido por Feldman *et al.* (1966) denominado DROP em que inicia-se com todas as facilidades candidatas (C) pertencentes ao conjunto de facilidades localizadas (L) sendo as facilidades retiradas do conjunto L gradativamente enquanto este não estiver vazio e enquanto a função objetivo melhora.

A Busca Local 2 é utilizada na heurística denominada neste trabalho como **GRASP-DROP** e é aplicada imediatamente após a fase construtiva descrita na Seção 3.2.

4. Testes Computacionais

Nesta seção são apresentados os testes computacionais das heurísticas GRASP propostas que foram programadas na linguagem C++.

4.1. Geração dos problemas testes

Para testar as heurísticas desenvolvidas neste trabalho, foram gerados 4 conjuntos de problemas:

- Instância 1: Problema gerado baseado na rede sem fio que será implementada no ambiente descrito na Seção 2.2, e em outros dois ambientes existentes na instituição em questão onde as soluções ótimas não são conhecidas. Neste problema, número de *APs*, locais potenciais, área a ser atendida e tipos de obstáculos foram gerados de acordo com o cenário real.
- Instâncias 2, 3 e 4: Problemas gerados de forma aleatória, com alteração na área atendida, tipos de obstáculos e quantidade de locais potenciais, onde as soluções ótimas também não são conhecidas.

É importante ressaltar que a quantidade de clientes em todas as instâncias foi mantida, isto é, 70 clientes e que a redução do número de *APs* está diretamente ligada à quantidade de clientes a serem atendidos, pois conforme descrito na Seção 2, cada *AP* deverá atender a, no máximo, 30 clientes. Diante disso, independente da área a ser atendida, ao se diminuir a quantidade de *APs* para verificar se esta redução ainda atende a área pretendida, esta é uma restrição importante que deve ser obedecida.

Cada instância é formada por três cenários (A, B, C) em que se varia a área a ser atendida e a ocorrência de determinado tipo de obstáculo conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Instâncias utilizadas para teste das heurísticas.

| Instância 1 | | | Instância 2 | | | Instância 3 | | | Instância 4 | | | |
|-------------|------------------------|-----------------|---------------------------|------------------------|---------------|---------------------------|------------------------|---------------|---------------------------|------------------------|---------------|---------------------------|
| APs | Área (m ²) | Tipos de Obst.. | APs | Área (m ²) | Tipo de Obst. | APs | Área (m ²) | Tipo de Obst. | APs | Área (m ²) | Tipo de Obst. | |
| Cenário A | 05 | 490 | Madeira, vidro e concreto | 05 | 430 | Madeira, vidro e concreto | 05 | 510 | Madeira, vidro e concreto | 05 | 390 | Madeira, vidro e concreto |
| Cenário B | 05 | 490 | Concreto e madeira | 05 | 430 | Concreto e madeira | 05 | 510 | Concreto e madeira | 05 | 390 | Concreto e madeira |
| Cenário C | 05 | 490 | Concreto | 05 | 430 | Concreto | 05 | 510 | Concreto | 05 | 390 | Concreto |

Nos testes computacionais realizados a seguir são comparados os desempenhos das heurísticas **GRASP-TROCA** e **GRASP-DROP** em todas as instâncias. As heurísticas são executadas três vezes para cada cenário e o tempo de duração de cada execução é diretamente proporcional ao tamanho da instância. Destas execuções são obtidas as médias dos resultados.

4.2. Apresentação dos resultados

Na Tabela 3 são apresentadas as porcentagens médias de área atendida durante a **Fase Construtiva**, bem como as porcentagens médias de área atendida obtidas pelas heurísticas **GRASP-TROCA** e **GRASP-DROP** em cada um dos cenários. É apresentado também o percentual da melhora das heurísticas em relação à fase de construção (GAP). Em todos os problemas testados, a heurística **GRASP-TROCA** mostrou resultados satisfatórios para o cenário A de três das quatro instâncias, isto é, atendeu mais que 80% da área pretendida. Ainda pode-se inferir que esta heurística apresentou uma melhora aceitável dos resultados em relação a sua fase de construção, em alguns casos melhorando-os em mais de 10%.

É possível observar que em todos os problemas testados, a heurística **GRASP-DROP** só apresentou resultado satisfatório para a instância com cenário de menor área.

Tabela 3. Média das áreas atendidas obtidas pelas heurísticas.

| Cenário | Fase Construtiva | GRASP-TROCA | GAP | GRASP-DROP | | GAP (-1 AP) | GAP (-2 APs) |
|-------------|------------------|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|
| | | | | -1 AP | -2 APs | | |
| Instância 1 | A | 77,08% | 82,06% | 4,98% | 78,02% | - | 0,94% |
| | B | 52,29% | 52,59% | 0,00% | - | - | - |
| | C | 44,07% | 44,15% | 0,08% | - | - | - |
| Instância 2 | A | 78,20% | 80,03% | 1,83% | 79,02% | - | 0,82% |
| | B | 48,02% | 58,27% | 10,25% | - | - | - |
| | C | 41,03% | 41,03% | 0,00% | - | - | - |
| Instância 3 | A | 71,08% | 74,05% | 2,97% | 74,09% | - | 3,01% |
| | B | 37,02% | 49,12% | 12,10% | - | - | - |
| | C | 38,06% | 50,27% | 12,21% | - | - | - |
| Instância 4 | A | 82,88% | 90,88% | 8,00% | 85,02% | 82,88% | 2,14% |
| | B | 67,08% | 78,09% | 11,01% | 69,78% | - | 2,70% |
| | C | 49,13% | 49,13% | 0,00% | - | - | - |

5. Conclusões

Neste trabalho foram propostas e comparadas duas heurísticas, baseadas na metaheurística GRASP, para resolver o problema localização de pontos de acesso em uma rede *wireless indoor* que será implantada em uma instituição federal de ensino, visando cobrir uma maior área possível de atendimento para uma determinada quantidade de usuários.

As duas heurísticas foram aplicadas para resolver quatro conjuntos de problemas. O primeiro conjunto contém problemas construídos manualmente, baseado no leiaute do problema real, de tal maneira que as soluções ótimas não são conhecidas. Os conjuntos restantes foram formados por problemas gerados de forma automatizada, onde as soluções ótimas também não são conhecidas.

Os resultados computacionais mostraram que a heurística **GRASP-TROCA** apresentou um resultado satisfatório, ou seja, atendendo mais de 80% da área pretendida para o cenário A de três das quatro instâncias. Isto se deve ao fato da ocorrência de tipos variados de obstáculos nos cenários testados. A sua melhora em relação à fase construtiva ultrapassou 10% em alguns casos.

A heurística **GRASP-DROP** demonstrou que o número de *APs* pretendidos para solucionar o problema apresentado é o mais aconselhável, uma vez que a diminuição da quantidade de pontos de acesso não apresentou melhora significativa em relação à fase construtiva.

Para trabalhos futuros pretende-se implementar uma heurística GRASP usando, na etapa de busca local, a técnica VND (*Variable Neighborhood Descent*) (Mladenovic e Hansen, 1997), que combinará os dois métodos de busca local propostos neste trabalho: TROCA E DROP.

6. Referências

- BARIZON, B.M.** *Medidas de Propagação em 2.4 Ghz para o Planejamento de Redes Locais de Acesso sem Fio*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica, PUC, 2004.
- BreezeNET PRO.11** Series Reference Guide, Julho, 1998.
- DREZNER, Z.** *Facility Location: a Survey of Spplications and Methods*. New York: Springer-Verlag, pp. 571, 1995.
- FEO T.A.; RESENDE, M.G.C.** *Greedy Randomized Adaptive Search Procedures*. Journal Of Global Optimization, 6: 109-133, 1995.
- GAREY, M.R.; JOHNSON, D.S.** *Computers and intractability: a guide to the theory of Npcom-pletteness*. W. H. Freeman and Co., San Francisco, 1979.
- HOFFMAN, L.T.; GÓMEZ, A.T.** *Uma abordagem do problema de localização de torres de rádio transmissão auxiliado por um sistema de informação geográfica*. XXXV SBPO, 2003.
- IEEE STANDARDS ASSOCIATION.** *IEEE 802.11: Lan/Man Wireless Lans*. USA. Disponível em <http://standards.ieee.org/getieee802/802.11.html> acessado em 15/06/2010.
- LASELVA, D.** *WLAN Indoor Radio Network Planning*, HUT Communications Laboratory, 2003.
- MARQUES, T.B.** *Heurísticas para o problema de localização/alocação de antenas de transmissão*. Dissertação de Mestrado em Pesquisa Operacional e Inteligência Computacional, Universidade Candido Mendes – Campos, Campos dos Goytacazes, RJ, 2007.
- NAJNUDEL, M.** *Estudo de propagação em ambientes fechados para o planejamento de WLANs*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica, PUC, 2004.
- RANGEL, M.C.; ABREU, N.M.M.; NETTO, P.O.B.** *GRASP para o PQA: um limite de aceitação para soluções iniciais*. Pesquisa Operacional, 20, 1:45-58, 2000.
- RUDD, R. F.** *Indoor Coverage Considerations for High- elevation Angle Systems*. Aegis Systems Limited, 2002
- SILIPRANDE, M.D.** *Localização de antenas de transmissão para internet wireless: uma aplicação com abordagem genética para o município de Itaperuna*. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção, UENF, Campos dos Goytacazes, 2009.