

Original

Metodologia para o planejamento de uma rede móvel GSM, objeto de estudo para estudantes de telecomunicações

Methodology for the planning of GSM mobile networks, study objective for the telecommunication students

Ing. Randy Verdecia Peña, Estudante Mestre, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Brasil, randy.verdecia@cetuc.puc-rio.br

Ing. David Nuñez Cuadrado, Estudante Mestre, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Brasil, david@cetuc.puc-rio.br

Recebido: 9/05/2018 Aceptado: 12/09/2018

RESUMO

A formação de engenheiros no sector das telecomunicações é fundamental na contemporaneidade, devido as rápidas mudanças tecnológicas. A telefonia móvel é uma tecnologia que frequentemente emigra fazendo melhoras em sua infraestrutura para proporcionar melhores serviços a seus clientes. A capacitação dos estudantes no setor das comunicações torna-se um desafio para os professores responsáveis por este processo, justo pelas novas tecnologias que são inseridas para obter melhoras na velocidade de transmissão, largura de banda e outros aspetos destas tecnologias. A problemática de não poder mostrar aos estudantes as modificações feitas com frequências nos sistemas de comunicações móveis com a implementação da terça, quarta e na atualidade com a quinta geração móvel estimulou a realização desta investigação. Na presente pesquisa foi escolhido como campo de ação as zonas de Gávea, Leblon e Ipanema do estado de Rio de Janeiro, Brasil. O objetivo da investigação foi o desenvolvimento de uma metodologia para o planejamento de uma rede de comunicação móvel para o estudo de estudantes de telecomunicações. A metodologia consiste na descrição do modelo matemático para o cálculo dos parâmetros empregado no planejamento, assim como apresentação da simulação de uma rede móvel utilizando o programa de modelação NetDimension. Conclui-se que a metodologia desenvolvida permite aos estudantes de telecomunicações o aprofundamento dos conhecimentos para o planejamento de uma rede de comunicação móvel, sendo de importância para compreender as modernas tecnologias existentes na atualidade.

Palavras chaves: metodologia; planejamento; comunicação móvel; estudantes de telecomunicações; simulação

ABSTRACT

The training of engineers in the telecommunications sector is fundamental in the contemporary world, due to the rapid technological changes. Mobile telephony is a technology that often emigrates making improvements in its infrastructure to provide better services to its customers. Student empowerment in the communications sector becomes a challenge for teachers responsible for this process, just because of the new technologies that are introduced to achieve improvements in the transmission speed, bandwidth and other aspects of these technologies. The problem of not being able to show the students the changes made with frequencies in the mobile communications systems with the implementation of the third, fourth and fifth mobile generation today stimulated this research. In the present research the areas of Gávea, Leblon and Ipanema of the state of Rio de Janeiro, Brazil were chosen as field of action. The objective of the research was the development of a methodology for the planning of a mobile communication network for the study of telecommunication students. The methodology consists of the description of the mathematical model for the calculation of the parameters used in the planning, as well as presentation of the simulation of a mobile network using the modeling program NetDimension. It is concluded that the developed methodology allows the students of telecommunications to deepen the knowledge for the planning of a mobile communication network, being of importance to understand the current modern technologies.

Key words: methodology; planning; mobile communication; telecommunications students; simulation

INTRODUÇÃO

Os sistemas de radiocomunicações móveis não transitado por um largo caminho de crescimento, e a partir do ano 1921 quando instala-se o primeiro sistema de rádio de telefonia móvel no Departamento da Policia da Cidade de Detroit nos estados Unidos de América. (Sánchez, 2012). A telefonia móvel está revolucionando a indústria das telecomunicações. Podem-se definir os sistemas da telefonia celular como um sistema de comunicação móvel nos quais a zona em que brinda o serviço divide-se em células, cada uma das quais é atendida por uma estação rádio base, de tal modo que quando um abonado celular mova-se pela zona de cobertura do sistema em cada momento seja atendido por a estação correspondente (Rodríguez et al., 2005).

A medida que o número de clientes aumenta e as demandas dos serviços são maiores as redes de comunicações móveis vão evoluindo com o objetivo de satisfazer o mercado. A primeira geração móvel (1G, First Generation) da telefonia móvel fez sua aparição na década dos 90 do século XX, caracterizando-se por ser analógica e só para comunicações de voz. A 1G tinha baixa qualidade nos enlaces de voz e sua transferência entre células era muito imprecisa, com baixa capacidade (Gómez, 2002). A segunda geração (2G, Second Generation), baseada na tecnologia digital com várias melhoras com respeito à 1G. Os principais serviços prestados por a 2G são mensagem de texto, mensagem de imagem e mensagem multimídia (MMS, Multimedia Messaging Service), assim com o aumento da seguridade porque as mensagens são digitalmente inscritas e só pode ser ler pelo o receptor correspondente (Mishra, 2004).

A terceira geração (3G, Third Generation) foi um passo significativo na evolução da telefonia móvel. A 3G foi capaz de fazer a convergência entre os serviços de voz e dados com o acesso sim fio à internet, aplicações multimídia e alta transmissão de dados. No outro lado, a quarta geração (4G, Fourth Generation) apresenta melhoras na velocidade, largura de banda e incorpora novos standards de comunicação (Pereira & Sousa, 2004). Cumprir com o incremento na demanda da taxa de transmissão de dados na atualidade, especialmente em áreas densamente popularizada é o objetivo da próxima geração móvel (5G, Fifth Generation), assim como o incremento da largura de banda em altas frequências (Ancanet al., 2017).

Para obter essas melhoras nas diferentes gerações móvel é preciso fazer um bom planejamento celular com o objetivo de aproveitar os recursos que brinda cada tecnologia. Porém é importante que seja conhecido desde as primeiras gerações como fazer tal planejamento. Esta investigação partiu tomando como problemática a ausência de uma metodologia básica que seja possível empregar para mostrar de forma teórica e prática aos estudantes de telecomunicações como fazer um planejamento celular e assim poder formar profissionais que ao finalizar sua graduação tenham um conhecimento básico do tema. As zonas de Gávea, Leblon e Ipanema na cidade de Rio de Janeiro, Brasil serviu como campo de investigação onde foram realizadas as simulações que são ilustradas na metodologia.

Por entrevistas feitas a estudantes de telecomunicações na Universidade de Oriente, Santiago de Cuba, foi observado que existe uma carência de material que proporcione ao estudante sair com a maior preparação para enfrentar o sector laboral, sendo de muito interesse para os alunos ter uma metodologia que proporcione o conhecimento para fazer o planejamento de uma rede móvel. O objetivo da investigação foi o desenvolvimento de uma metodologia para o

planejamento de uma rede de comunicação móvel para o estudo de estudantes de telecomunicações.

População e amostra

Na pesquisa, utilizaram-se métodos teóricos do conhecimento. A análise e síntese permitiram avaliar e resumir a informação disponível sobre o problema em estudo, a indução-dedutiva foi utilizada para estabelecer generalizações com base na análise das teorias, tendências e critérios de profissionais que aplicaram essas tecnologias; além do raciocínio e integração das informações obtidas no processo de pesquisa e chegando a obter a metodologia. Finalmente, a abstração e a concreção foram usadas para refletir e reproduzir as qualidades, regularidades estáveis e necessárias da pesquisa.

Seguindo a lógica da pesquisa, para fazer a metodologia do planejamento de um sistema celular GSM, não levando em consideração análise de tráfego e refinamento de otimização. Para a elaboração da metodologia primeiramente foi definida a área de cobertura a ser atendida. A região escolhida foi Gávea, Leblon e Ipanema, no Rio de Janeiro, Brasil. O segundo foi feito o balanceamento dos enlaces (link budget) através de um modelo de propagação simplificado, ou seja, sem necessidade de base dados para estimar a cobertura do área. Em nosso trabalho o método utilizado pelo cálculo da cobertura foi o modelo empírico Cost 231-Hata.

Depois foram feitos os cálculos teóricos dos enlaces. Os dados serviram como parâmetros da simulação na ferramenta Net Dimension (Mello, 2013). Logo, realizou-se uma análise dos dados calculados e uma estimativa da geometria da rede. Após esse passo foi feita a utilização propriamente dita da ferramenta Netdimension, obtendo-se as respostas gráficas do programa. Finalmente com todos os dados obtidos foi feita a análise dos resultados do planejamento.

Para o desenvolvimento da metodologia foram empregados os seguintes dados:

1. Sistema celular GSM em 1800 MHz cobrindo as cidades de Rio de Janeiro. Considere estações rádio base modelo RBS884 e estações móveis classe IV:
2. Requisitos de projeto: GOS = 2%; BER = 1%; CAP incar = 90 %.
3. Dados adicionais: N = 4; NS = 3; Perda de penetração incar = 10 dB.
4. Modelo de propagação: COST 231-Hata

Análises dos resultados

O sistema de telefonia móvel celular é baseado na divisão de áreas geográficas, denominadas células. Cada célula pode ser representada por uma estação base, a qual provê a cobertura

propriamente dita e utiliza o reuso de frequências, a técnica aplicada para transmissão de sinais com a mesma frequência em estações distintas (Mello, 2014).

Para que um sistema de comunicação celular tenha maior eficiência é preciso fazer um bom planejamento. O planejamento de um sistema celular consiste no desenvolvimento otimizado de 3 (três) procedimentos de cálculo distintos: área de cobertura, capacidade de tráfego e reuso de frequências (Rodríguez, 2003). Na estimativa da área de cobertura devem ser utilizados modelos de propagação adequados a cada situação, tais modelos devem estar associados ao posicionamento e altura da ERB (Estação Rádio Base), ou seja, à altura média dos prédios (Augusto, 2004). Por tais razões, em caso de células grandes ou pequenas, as antenas devem ser posicionadas acima desta média, para minimizar o efeito de bloqueio pelas construções dos prédios mais próximos (Dos Santos, 2010).

Para uma melhor compreensão da metodologia foi proposta uma série de tarefas que são relacionadas na seguinte figura:

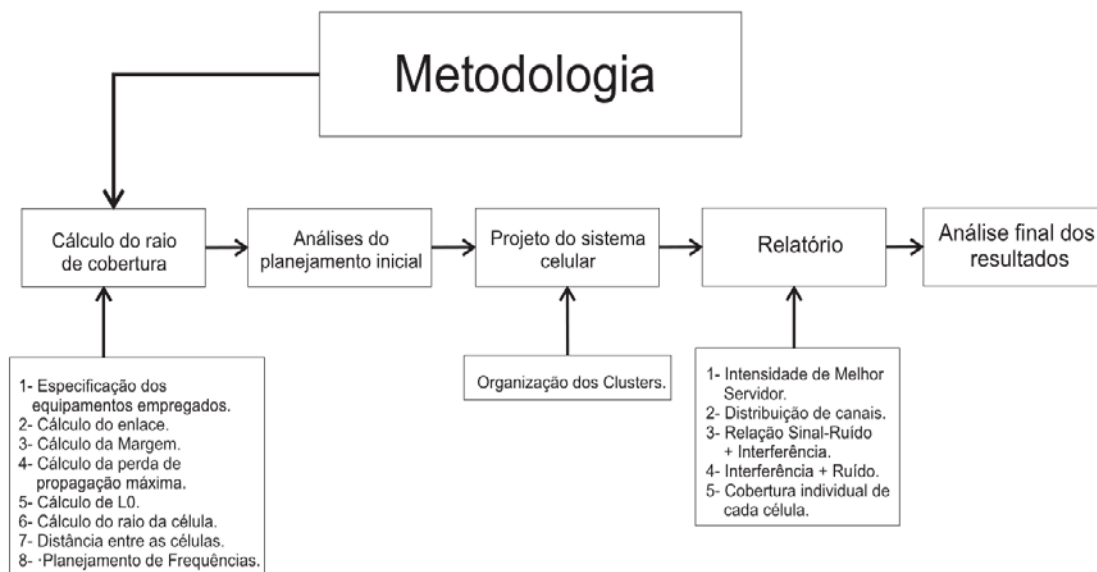


Figura 1 Metodologia para o planejamento de uma rede celular

Cálculo do radio de cobertura

O primeiro passo pelo desenvolvimento da metodologia do planejamento corresponde ao cálculo do raio da célula. Onde os dados de entrada necessários para este cálculo estão relacionados a seguir.

1. Frequência de operação
2. Potência de transmissão PT de:
 - Estação rádio base: A potência de transmissão depende de cada uma das especificações do equipamento, em nosso caso modelo ERB RBS884.

- Terminal móvel: em nosso caso estações móveis classe IV
- 3 Atenuação no cabo de alimentação da antena (LT).
 - 4 Ganho das antenas de estação rádio base (tipicamente 15dBi) e estação móvel onde é usual supor um ganho de 0 dBi.
 - 5 Limiar de recepção que corresponde ao valor mínimo de potência de entrada capaz de sensibilizar o receptor e permitir que a informação seja decodificada com determinada taxa de erro.
 - 6 Altura das antenas da:
 - Estação rádio base onde quando a antena da ERB (Estação Rádio Base) situa-se acima do nível médio dos prédios, o valor típico para planejamento é de 30 metros.
 - Estação rádio móvel, neste caso é usual considerar 1,5 m.
 - 7 Percentagem de cobertura da área da célula (PCA) considerando que o planejamento é feito com cobertura de 90% da célula, adiciona-se ao valor da atenuação mediana uma margem de desvanecimento M considerando um coeficiente de atenuação $\gamma = 3,5$.
 - 8 Tipo de cobertura desejada – para cobertura de ambiente externo (outdoor), que basicamente tem por objetivo o atendimento de pedestres, adota-se para o desvio padrão um valor típico de 8 dB.

$$R = 10^{\frac{L_{\max} - L_{\text{penetração}} - BL - M - L_0}{10\gamma}} \quad (1)$$

Especificação dos equipamentos empregados

Parâmetro	Valor
Potência de Tx (Ptx)	36 dBm
Ganância Diversidade (Gdiv)	3 dB
Perda por cabos (Lcabos)	2.7 dB
Ganância antena (Gantena)	15 dBi
Potencia de Rx (Prx limiar)	-109,5 dBm
Altura de Antena (hantena)	30 m

Tabela 1 - Estação Móvel Ericsson ERB RBS 884. Fonte: (Mello, 2013)

Parâmetro	Valor
Potência de Tx (Ptx)	28 dBm
Perda por cabos (Lcabos)	0 dB
Ganância antena (Gantena)	0 dBi
Potencia de Rx (Prx limiar)	-99,5 dBm
Altura de Antena (hantena)	1,5 m

Tabela 2 - Estação Móveis Tipo IV. Fonte: (Mello, 2013)

Cálculo dos enlaces

$$L_{max} = \text{Min}(L_{max}(DL), L_{max}(UL)) \quad (2)$$

Down Link (ERB - EM):

Na figura 2 é ilustrado o enlace down-link entre a ERB e EM (Estação Móvel)

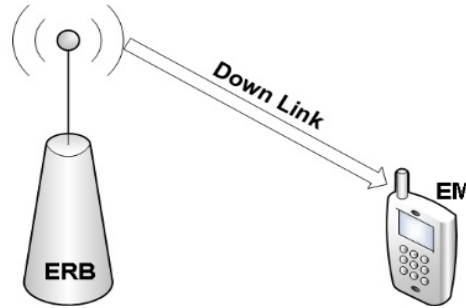


Figura 2 - Enlace ERB-EM. Autor

$$L_{max} = E_{iRP}(dBm) - RSL_{min}(dBm) \quad (3)$$

$$E_{iRP}(dBm) = P_{ERB}(dBm) - L_{cabos}(dB) + G_{antena}(dBi) \quad (4)$$

$$RSL_{min}(dBm) = P_{limiar}_{EM}(dBm) + L_{cabos}(EM) - G_{EM}(dBi) \quad (5)$$

Fazendo substituições nas equações (3), (4) e (5) tem-se:

$$E_{iRP}(dBm) = 36 (dBm) - 2.7 (dB) + 15 (dBi) = 48.3 dBm \quad (6)$$

$$RSL_{min}(dBm) = -99.5 (dBm) - 0 (dB) + 0 (dB) = -99.5 dBm \quad (7)$$

$$L_{max}(dBm) = 48.3 (dBm) + 99.5 (dBm) = 147.8 dBm \quad (8)$$

Up Link (EM - ERB):

Na figura 3 é ilustrado o enlace up-link entre a EM e ERB (Estação Móvel)

Fazendo substituições nas equações (3), (4) e (5) tem-se:

$$E_{iRP}(dBm) = 28 (dBm) - 0 (dB) + 0 (dBi) = 28 dBm \quad (9)$$

$$RSL_{min}(dBm) = -109.5 (dBm) + 2.7 (dB) - 15 (dBi) - 3 (dB) = -124.8 dBm \quad (10)$$

$$L_{max}(dBm) = 28 (dBm) + 124.8 (dBm) = 152.8 dBm \quad (11)$$

$$L_{max} = \text{Min}(L_{max}(DL), L_{max}(UL)) = 147.8 dBm \quad (12)$$

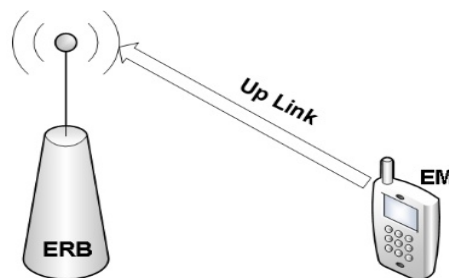


Figura 3 - Enlace EM-ERB. Autor

Parâmetro	ERB	EM
EiRP	48.3 dBm	28 dBm
RSLmin	- 99.5 dBm	-124.8 dBm
Lmax	147.8 dBm	152.8 dBm
Lmax(min(ERB, EM))	147.8 dBm	

Tabela 3 - Valor cálculo do enlace. Fonte: (Mello, 2013)

Cálculo da Margem

Para garantir a PCA requerida, é necessário incluir uma margem (M), que depende do tipo de cobertura desejada (outdoor, incar ou indoor); o caso de cobertura incar ou indoor, é necessário também incluir uma perda de penetração no ambiente. Finalmente, é preciso incluir uma perda adicional de bloqueio do terminal móvel pelo corpo humano.

Cobertura outdoor

$\sigma = 8dB$ (desvio padrão típico do nível de sinal em áreas urbanas).

Cobertura Incar

Perda de penetração em carros = 10 dB (valor típico).

$\sigma_{IC} = 3dB$ (Desvio padrão da perda de penetração em carros).

$$\sigma_{total} = \sqrt{\sigma^2 + \sigma_{IC}^2} = \sqrt{8^2 + 3^2} = 8.5 dB \quad (13)$$

$$10\gamma = 44.9 - 6.55 \log(h_{ERB}) \quad (14)$$

$$10\gamma = 44.9 - 6.55 \log(30 m) = 35.22 \quad (15)$$

$$\gamma = 3.5 \quad (16)$$

CAP=90%

Desvio padrão σ (dB)	Margem M						
	$\gamma=2.5$	$\gamma=2.7$	$\gamma=2.9$	$\gamma=3.1$	$\gamma=3.3$	$\gamma=3.5$	$\gamma=3.7$
6.0	4.2	4.0	3.8	3.7	3.5	3.3	3.2
6.5	4.8	4.6	4.4	4.2	4.0	3.9	3.7
7.0	5.3	5.1	4.9	4.7	4.6	4.4	4.2
7.5	5.9	5.7	5.5	5.3	5.1	4.9	4.7
8.0	6.5	6.2	6.0	5.8	5.6	5.5	5.3
8.5	7.0	6.8	6.6	6.4	6.2	6.0	5.8
9.0	7.6	7.4	7.2	7.0	6.7	6.6	6.4
9.5	8.2	8.0	7.7	7.5	7.3	7.1	6.9
10.0	8.8	8.6	8.3	8.1	7.9	7.7	7.5
10.5	9.4	9.1	8.9	8.7	8.5	8.2	8.0
11.0	10.0	9.7	9.5	9.3	9.0	8.8	8.6
11.5	10.6	10.3	10.1	9.8	9.6	9.4	9.2
12.0	11.2	10.9	10.7	10.4	10.2	10.0	9.7

Figura4 - Valores do CAP 90 %. Fonte: (Mello, 2014)

Da figura 4, ou margem para o CAP = 90 %, $\gamma = 3.5$ e $\sigma = 8.5 dB$, temos $M = 6$.

$BL = 4dB$ (Desvio padrão da perda de corpo humano).

$L_{pen} = 10dB$ (Perda de penetração em carros).

Cálculo da perda de propagação máxima.

$$L_{Pmax} = L_{max} - L_{pen} - BL - M = 147.8 - 10 - 4 - 6 = 127.8 dB \quad (17)$$

Cálculo de L_0 .

Do modelo de COST 231 – Hata (Mello, 2014) para áreas urbanas e para faixa de frequência de 1800 MHz a 1900 MHz, temos:

$$L(dB) = 46.3 + 33.9 \log f_c(MHz) - 13.82 \log h_{ERB} - a(h_R) + (44.9 - 6.55 \log h_{ERB}) \log d + C_M \quad (18)$$

Onde:

f_c → Frequência (1500-2000 MHz)

h_T → Altura de antena da rádio base (30-200 m)

h_R → Altura da antena do móvel (1.5 m)

d → Distância á rádio base (1 a 20 km)

$$a(h_R) = 3.2 * (\log 11.75 * h_R)^2 - 4.97 = 3.2 * (\log 11.75 * 1.5)^2 - 4.97 \approx 0 \quad (19)$$

Logo com $f_c = 1800MHz$, $h_{ERB} = 30m$, $C_M = 0dB$, d varia de 1 a 20 km (será considerado $d = 1$).

$$L_0(dB) = 46.3 + 110.35 - 20.41 - (4.97 - 4.97) = 136.24 dB \quad (20)$$

Cálculo do raio da célula.

$$R = 10^{\left(\frac{L_{max} - L_{pen} - BL - M - L_0}{10\gamma}\right)} = 10^{\left(\frac{147.8 - 10 - 4 - 6 - 136.24}{35.22}\right)} \approx 0.576 Km \quad (21)$$

Cálculo do raio da célula desconsiderando perda de penetração em carros (incar).

$$R = 10^{\left(\frac{L_{max} - BL - M - L_0}{10\gamma}\right)} = 10^{\left(\frac{147.8 - 4 - 6 - 136.24}{35.22}\right)} \approx 1.107 Km \quad (22)$$

Distância entre as células entre clusters (distancia de reuso).

$$D_c = \sqrt{N * 3} R = \sqrt{4 * 3} * 0.576 = 1.995 Km \quad (23)$$

Distância entre as células entre clusters (distancia de reuso) desconsiderando perda de penetração em carros (incar).

$$D_c = \sqrt{4 * 3} * 1.107 = 3.834 Km \quad (24)$$

Planejamento de Frequências.

Com um fator de reuso $N = 4$ e setorização tripla $N_s = 3$, empregando o plano setorizado 4/12. O número de grupos de portadoras em cada setor será de $N \times N_s = 12$ grupos. Como o GSM 1800 possui 374 portadoras, o número de portadoras por cada grupo será 31 ($\approx 374/12$) portadoras por grupo. A distribuição de grupos de portadoras fica como é ilustrado na figura 5.

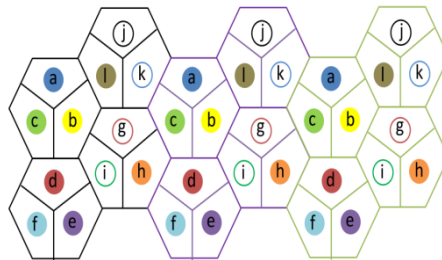


Figura 5 - Distribuição do plan setorizado 4/ 12. Fonte: (Mello, 2014)

Análise do planejamento inicial.

O processo de planejamento de rede é realizado com o objetivo de obter-se a maior cobertura de atuação com a menor quantidade de equipamento possível, e ao mesmo tempo ter a capacidade de rede necessária para se atender a demanda de tráfego dos usuários. Para que estes objetivos sejam alcançados, existem estágios típicos a serem realizados, que incluem a definição dos parâmetros de projeto (plano inicial e detalhado) e otimização.

Para nosso planejamento, como foi mencionado anteriormente, se escolheu a zona a ser atendida, a mesma caracteriza-se por ser muito densa, com um grande número de prédios residências. Depois foi escolhido o modelo empírico de propagação de COST 231- Hata, o qual é adequado para caracterizar as perdas em zonas com características similares, onde a linha de visada entre a estação-base e a estação móvel na direção da rua está cercada por edifícios e é o modelo que possibilita o cálculo da atenuação de propagação na faixa de 1500 a 2000 MHz.

Posteriormente foi analisado o reuso de frequência, sendo este um aspecto muito importante no planejamento de um sistema celular, que determina a interferência co-canal e ao mesmo tempo limita a capacidade de tráfego do sistema.

$$q = \frac{D}{R_c} = \sqrt{3N} \quad (25)$$

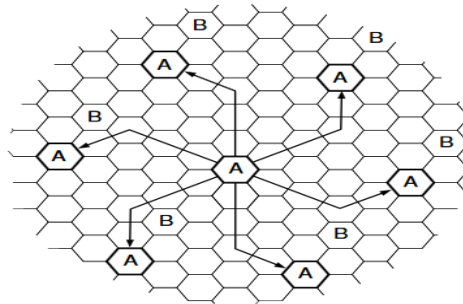


Figura 6 - Razão de reuso. Fonte: (Mello, 2013)

Se a razão de reuso for aumentada a interferência co-canal diminuirá, em contrapartida o número de células por cluster aumenta, o que representa uma diminuição da capacidade de tráfego do sistema já que o número de canais por célula diminui (partindo do princípio que a quantidade total de canais do sistema é constante). Nosso caso o fator de reuso $N = 4$ e uma geometria hexagonal. A metodologia foi considerada com célula de setorização tripla para redução de interferência, devido a que a interferência é um dos principais fatores limitantes da capacidade do sistema celular GSM e setorizar é uma das formas de mitigar este problema. Foram criados 3 setores por célula.

Verdecia Peña, Nuñez Cuadrado

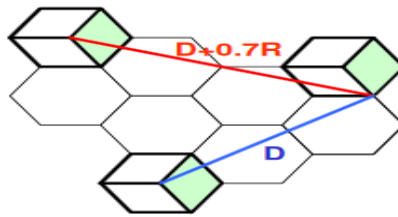


Figura 7- Sectorização tripla. Fonte: (Mello, 2013)

As estações base são posicionadas de forma a atender a distância entre células, D_c , calculada anteriormente, 997 metros. Dessa forma, as células se sobrepõem parcialmente com as células vizinhas, garantido assim a região de handover ou handoff.

Área de atendimento.

Na figura 8 são mostradas a área onde é feito estudo da metodologia, o seja, área de cobertura do sistema.



Figura 8 - Área de atendimento (Imagem obtida do Google Maps) e (Mapa topográfico da região obtido de NetDimension.)

Projeto do sistema celular.

Organização dos Clusters:

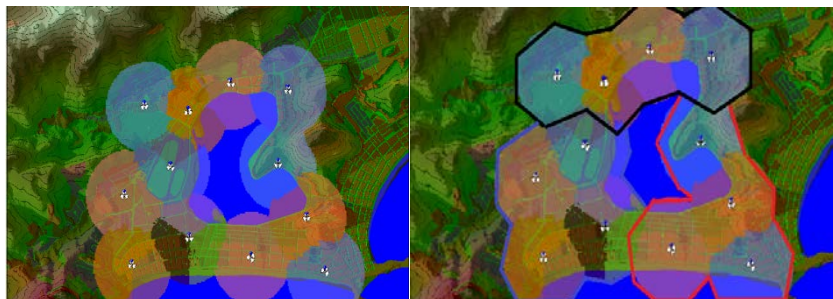


Figura 9 - Distribuição das Células e distribuição dos cluster. Autor

Relatório

Intensidade do Melhor Servidor e Distribuição de canais

Metodologia para o planejamento de uma rede móvel GSM

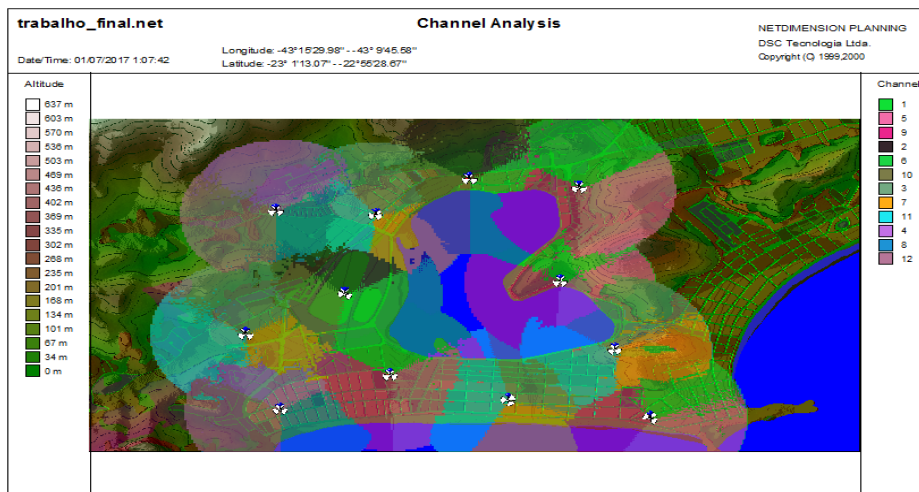
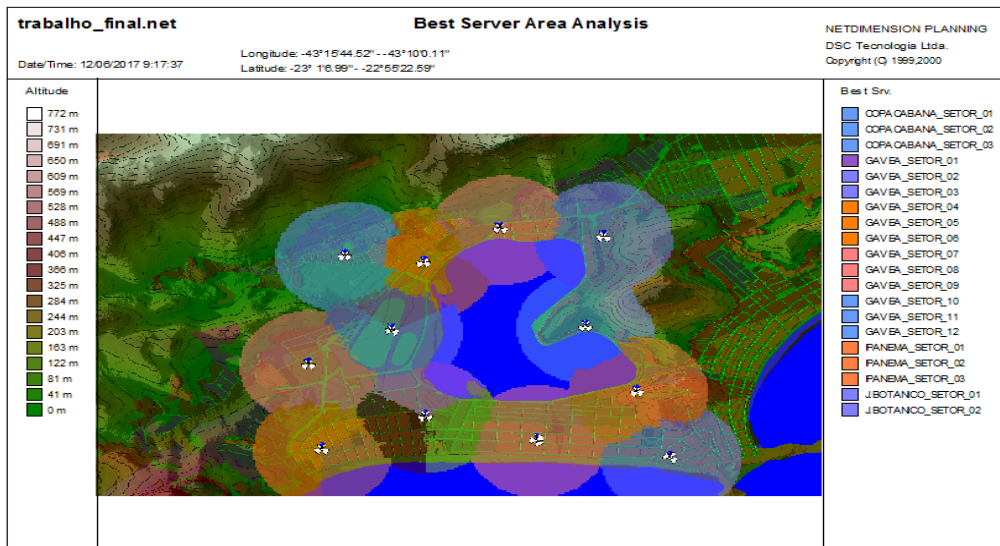
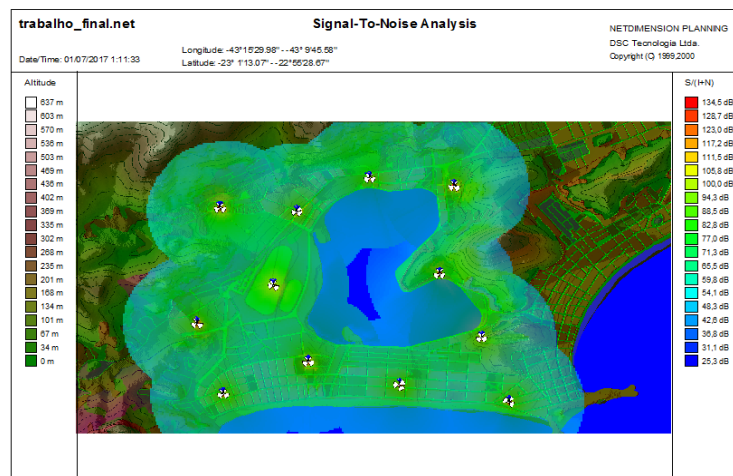


Figura 10 - Intensidade do melhor servidor e distribuição dos canais

Relação Sinal-Ruído + Interferência e Cobertura individual de cada célula



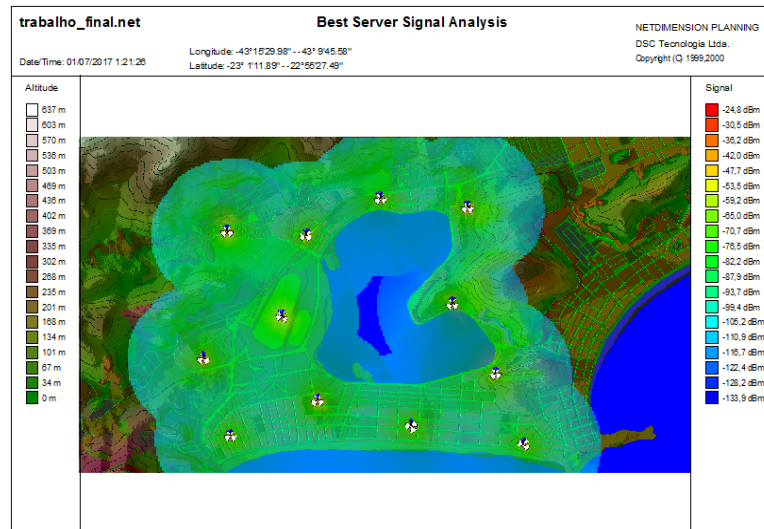


Figura 11- Relação Sinal-Ruído + Interferência e Cobertura individual de cada célula

Análise final do projeto

Depois da realização da metodologia do planejamento celular é possível fazer a comparação dos valores teóricos calculados com os reais obtidos com ferramenta Netdimension tendo em conta as condições reais do ambiente. Lembremos que a zona projetada é uma área com muitos prédios e construções. No caso para atingir a região proposta só foi necessário o emprego de três cluster, por tanto não todos os canais disponíveis por o sistema foram empregados. É notório que a redução do raio da célula melhora a região de cobertura, a capacidade do sistema e redução da interferência. É observado que há interferência co-canal e adjacente nos cluster. Sendo necessário, além do reajuste no tamanho do raio da célula, ajustes nos setores e “tilts” das antenas, quando for elaborado o projeto nominal.

O embasamento desta análise é teórico por observação da localização da região, e não chega ao refinamento de projeto nominal, sendo ainda considerada como um projeto inicial com uma análise mais voltada para a qualidade e capacidade do sistema. No que tende a modificação dos raios de células deve ser considerado a distância mínima entre células para evitar a interferência co-canal e um melhor estudo para alocação de canal com um plano de frequência robusto. O nível da interferência é igual entre células co-canais de mesmo tamanho e a distância de reuso é um fator a ser considerado como também a relação Sinal Ruído (S/R), quando for feita a otimização junto as células existentes.

CONCLUSÕES

1. A metodologia desenvolvida foi baseada no cálculo dos parâmetros necessário para o planejamento de uma rede móvel GSM e foi empregado o programa de simulação

Netdimension. Depois de realizar o planeamento do sistema GSM podemos concluir que o projeto permite avaliar como na prática os parâmetros estimados teoricamente são modificados tomando em conta a características da região de cobertura, as quais devem ter-se presente para fazer um planeamento adequado.

2. A investigação mostra passo a passo o desenvolvimento de uma metodologia para o planeamento de uma rede celular que poder ser empregada como uma ferramenta de estudo em estudantes de telecomunicações já que descreve de forma teórico-prática o planeamento de uma rede celular GSM.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- Ancans, G., Stafecka, A., Bobrovs, V., Ancans, A. &Caiko, J. (2017). Analysis of Characteristics and Requirements for 5G Monile Communication Systems. *Latvian Journal Of Physics And Technical Sciences*.No.4 DOI: 10.1515/lpts-2017-0028. [documento em línea] <https://www.researchgate.net/publication/320017111>
[Analysis of Characteristics and Requirements for 5G Mobile Communication System](https://www.researchgate.net/publication/320017111/abstract)s. [Consultado: 17 junio. 2018].
- Augusto, L. (2004). Planejamento de sistemas celulares: estudo de caso, Universidade São Francisco, Curso de Engenharia Elétrica, SP.
- Dos Santos, D. (2010). Planejamento de Cobertura e Capacidade de Redes de Acesso em Banda Larga com Tecnologia LTE. Pontifícia Universidade Católica de Rio de Janeiro. [documento em línea]http://www.lambda.maxwell.ele.puc-rio.br/17607/17607_1.PDF. [Consultado: 17 junho. 2018].
- Gómez, C. (2002). Telefonía celular: comunicación móvil. *Revista Mexicana de Comunicación (México)*78, nov. -dic. 2002.[documento em línea] <http://www.mexicanadecomunicacion.com.mx> [Consultado: 17 junio. 2018].
- Mello, L. (2013). Manual do Net Dimension. CETUC,PUC-RIO.
- Mello, L. (2014). Apostila de Planejamento GSM. Planejamento de Sistemas Celulares e de Rádio Acesso, CETUC, PUC-RIO.
- Mishra, A. (2004). *Fundamentals of Cellular Network Planning and Optimization, 2G/ 2.5G/ 3G...evolution of 4G*. John Wiley and Sons, ISBN: 978-0-470-86267-4. pp.308.
- Pereira, V. & Sousa, T. (2004). *Evolution of Mobile Communications: from 1G to 4G*. Departament of Informatics Engineering of the University of Coimbra, Portugal.[documento

em línea] https://eden.dei.uc.pt/~vasco/Publications_files/Mobile_evolution_v1.5.1.pdf
[Consultado: 17 junio. 2018].

Rodríguez, O., Hernández, R., Torno, L., García, L. & Rodríguez, R. (2005). Telefonía móvil celular: origen, evolución, perspectivas. *Ciencia Holguín*, E-ISSN: 1027-2127, Vol.XI, (1). pp.1-8.

Rodriguez, C. (2003). Planejamento de Sistemas celulares, Instituto militar de Engenharia, Rio de Janeiro. [documento em línea] http://www.pgee.ime.eb.br/pdf/carlos_ron.pdf.
[Consultado: 17 junho. 2018].

Sánchez, H. (2012). Sistemas de radio comunicaciones móviles. Departamento de Telecomunicaciones, FIE, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba. pp.1-12.