

## 5 Resultados das Simulações

O ambiente escolhido para realização das simulações foi uma área de  $14.5 \text{ Km}^2$  com 45 estações base e usuários distribuídos de modo homogêneo por toda a área. Diferentes tipos de cenários foram estudados. Em todos os casos a distância entre as estações base foi de 0.91m. O modelo de propagação aplicado foi o de Okumura-Hata para ambientes urbanos.

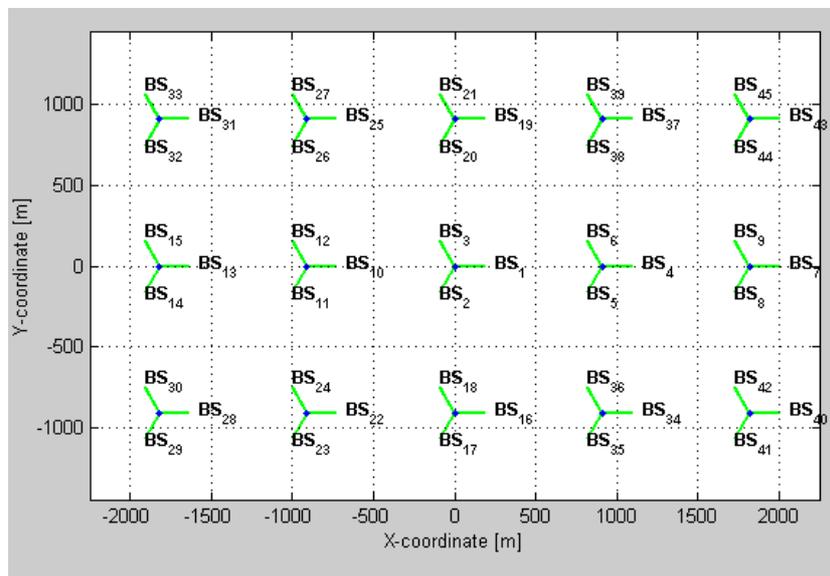


Figura 5.1 – Ambiente de Simulação

### 5.1. Saturação do Sistema

Primeiramente foi feito um estudo de saturação do sistema, ou seja, o número de usuários suportado pelo cenário acima. Foram realizados cinco estudos, um para cada uma das seguintes taxas 12.2 Kbps, 64 Kbps, 144 Kbps e 384 Kbps e foi realizado um último caso considerando todas as taxas simultaneamente. Em todas as simulações os usuários estavam a uma velocidade de 50 km/h.

### 5.1.1. Para taxa de 12.2 Kbps

Para usuários de voz a uma taxa de 12.2 Kbps os seguintes resultados foram encontrados utilizando o software NPSW:

| Nº total de usuários | usuários servidos | usuários não servidos |
|----------------------|-------------------|-----------------------|
| 2000                 | 1730              | 270                   |
| 1800                 | 1682              | 118                   |
| 1500                 | 1491              | 9                     |
| 1000                 | 1000              | 0                     |
| 750                  | 750               | 0                     |

Tabela 5.1 – Número de usuários servidos e não servidos para taxa de Voz

Com os dados acima foi possível gerar a figura 5.1 que apresenta o ponto de saturação do sistema.

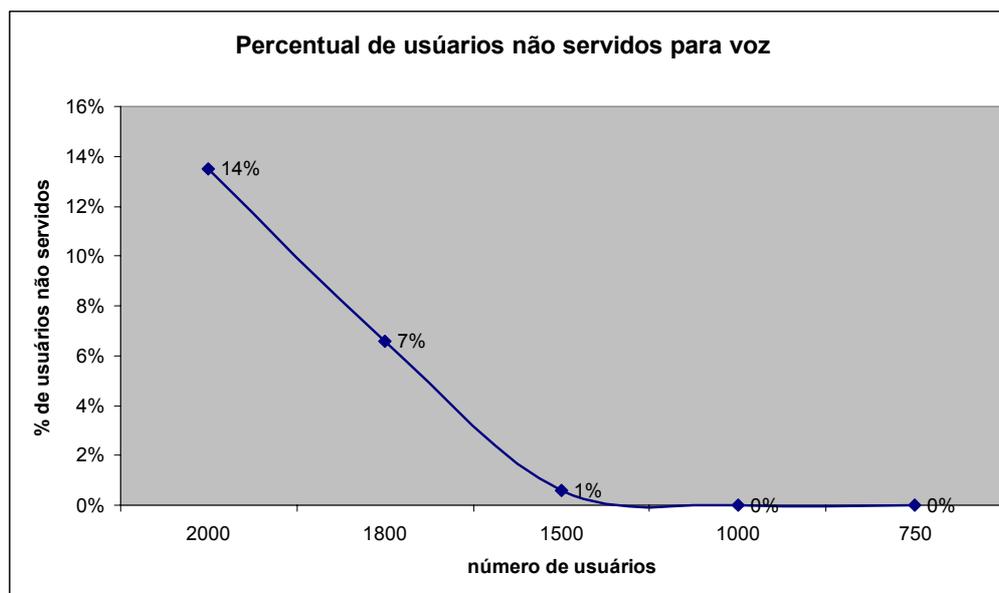


Figura 5.2 – Saturação do Sistema para taxa de 12.2 Kbps

A medida que o número de usuários se aproxima de 2000, a rede começa a não conseguir servir um percentual significativo de usuários.

### 5.1.2. Para taxa de 64 Kbps

Para usuários a uma taxa de 64 Kbps os seguintes resultados foram encontrados utilizando o software NPSW:

| nº total de usuários | usuários servidos | usuários não servidos |
|----------------------|-------------------|-----------------------|
| 750                  | 307               | 443                   |
| 600                  | 296               | 304                   |
| 500                  | 287               | 213                   |
| 350                  | 273               | 77                    |
| 280                  | 251               | 29                    |

Tabela 5.2 – Número de usuários servidos e não servidos para taxa de 64 Kbps

Com os dados acima foi possível gerar a figura 5.3 que apresenta o ponto de saturação do sistema.

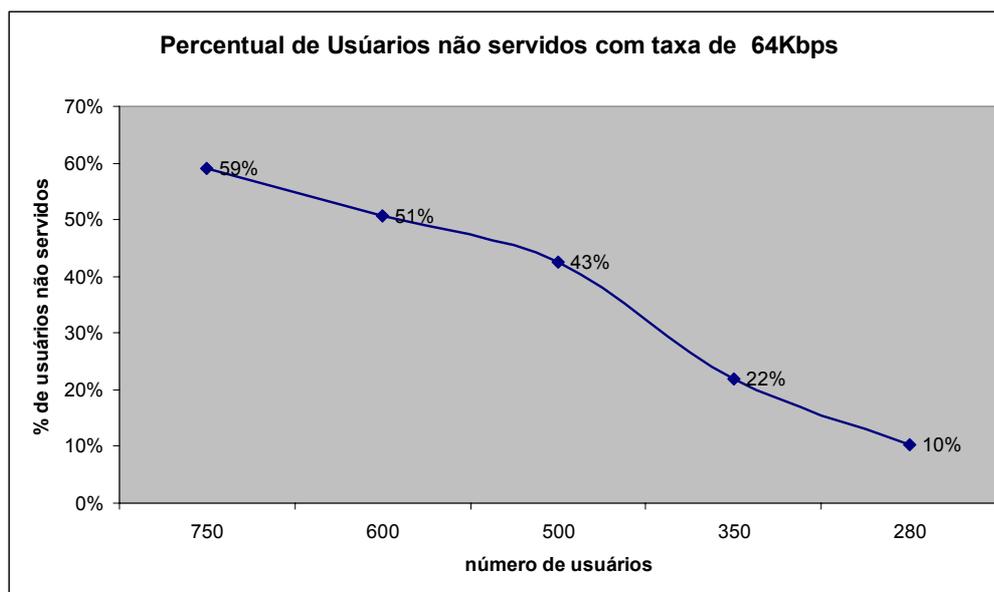


Figura 5.3 – Saturação do Sistema para taxa de 64 Kbps

A medida que o número de usuários se aproxima de 350, a rede começa a não conseguir servir um percentual significativo de usuários, começando a ficar saturada.

### 5.1.3. Para taxa de 144 Kbps

Para usuários a uma taxa de 144 Kbps os seguintes resultados foram encontrados utilizando o software NPSW:

| n° total de usuários | usuários servidos | usuários não servidos |
|----------------------|-------------------|-----------------------|
| 250                  | 141               | 109                   |
| 200                  | 128               | 72                    |
| 150                  | 121               | 29                    |
| 120                  | 108               | 12                    |
| 100                  | 93                | 7                     |

Tabela 5.3 – Número de usuários servidos e não servidos para taxa de 144 Kbps

Com os dados acima foi possível gerar a figura 5.4 que apresenta o ponto de saturação do sistema.

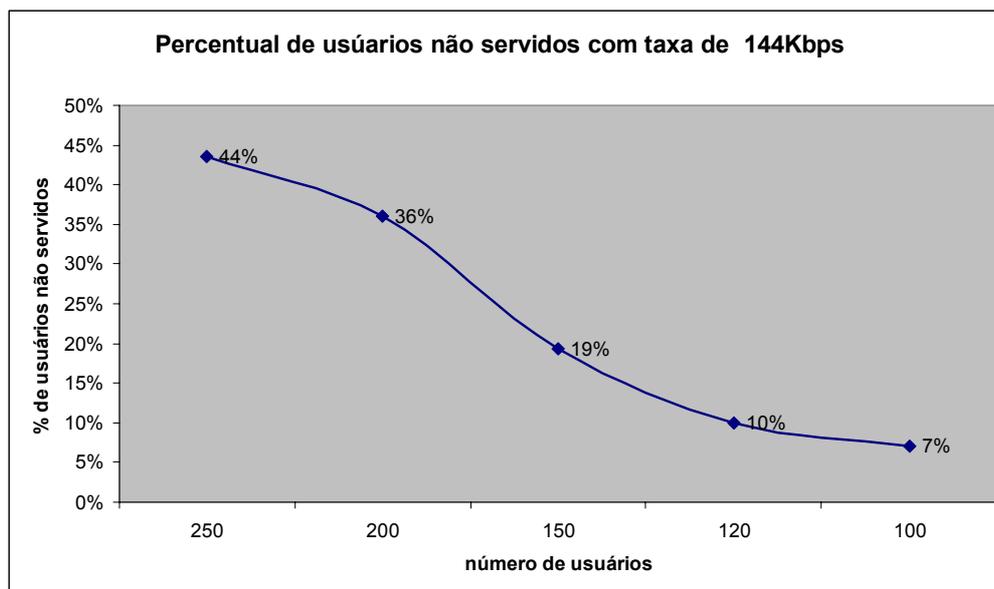


Figura 5.4 – Saturação do Sistema para taxa de 144 Kbps

A medida que o número de usuários se aproxima de 100, a rede começa a não conseguir servir um percentual significativo de usuários, começando a ficar saturada.

#### 5.1.4. Para 384 Kbps

Para usuários a uma taxa de 384 Kbps os seguintes resultados foram encontrados utilizando o software NPSW:

| nº total de usuários | usuários servidos | usuários não servidos |
|----------------------|-------------------|-----------------------|
| 100                  | 51                | 49                    |
| 70                   | 47                | 23                    |
| 50                   | 40                | 10                    |
| 40                   | 36                | 4                     |
| 30                   | 28                | 2                     |

Tabela 5.4 – Número de usuários servidos e não servidos para taxa de 384 Kbps

Com os dados acima foi possível gerar a figura 5.5 que apresenta o ponto de saturação do sistema.

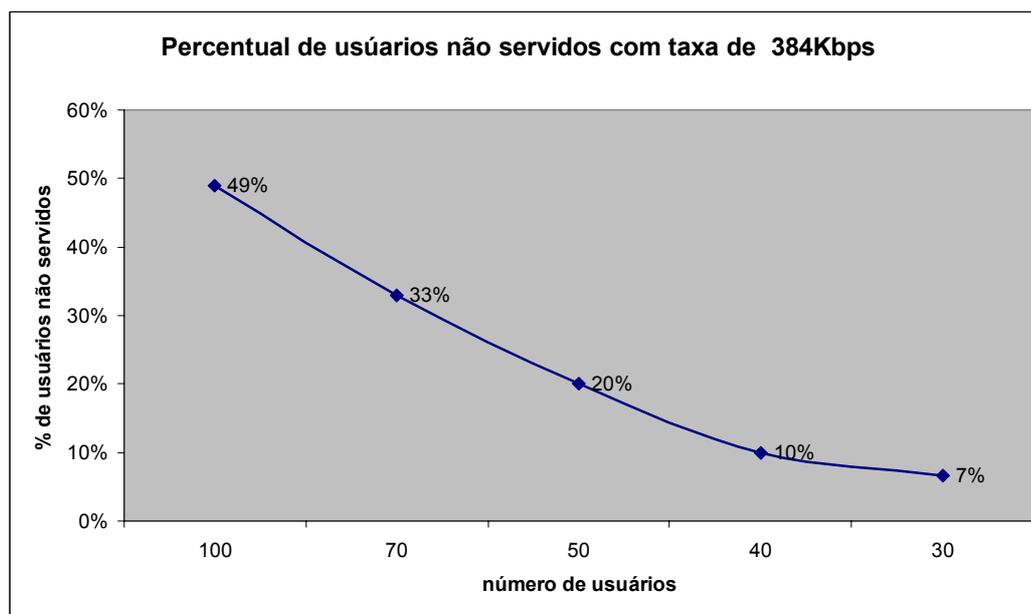


Figura 5.5 – Saturação do Sistema para taxa de 384 Kbps

A medida que o número de usuários se aproxima de 40, a rede começa a não conseguir servir um percentual significativo de usuários, começando a ficar saturada.

### 5.1.5. Para diferentes Taxas de Bit

Nesta simulação os usuários estão divididos entre as quatro taxas apresentadas nas seções anteriores. Os usuários foram divididos segundo os seguintes percentuais: 86% para voz, 6.8% para taxa de 64 Kbps, 4.5% para taxa de 144Kbps e 2.7% para taxa de 384 Kbps.

A tabela 5.5 apresenta os casos estudados e a divisão dos usuários em cada caso específico.

|                             | <b>12.2 Kbps</b> | <b>64 Kbps</b> | <b>144 Kbps</b> | <b>384 Kbps</b> |
|-----------------------------|------------------|----------------|-----------------|-----------------|
| Nº total de usuários = 500  | 430              | 34             | 22              | 14              |
| Nº total de usuários = 800  | 688              | 54             | 36              | 22              |
| nº total de usuários = 1000 | 860              | 68             | 45              | 27              |

Tabela 5.5 – Número de usuários por taxa

Com a realização das três simulações acima se chegou a tabela 5.6, onde é apresentado o percentual de usuários não servidos em cada taxa por simulação.

| <b>Percentual de usuários não servidos</b> |                |                 |                 |
|--|----------------|-----------------|-----------------|
| <b>12.2 Kbps</b>                           | <b>64 Kbps</b> | <b>144 Kbps</b> | <b>384 Kbps</b> |
| 4%   | 3%             | 5%              | 7%              |
| 12%  | 13%            | 19%             | 36%             |
| 18%  | 31%            | 33%             | 41%             |

Tabela 5.5 – Percentual de usuários não servidos por taxa

Com os dados acima foi possível gerar a figura 5.6 que apresenta o ponto de saturação do sistema para cada caso e o percentual de usuários não servidos.

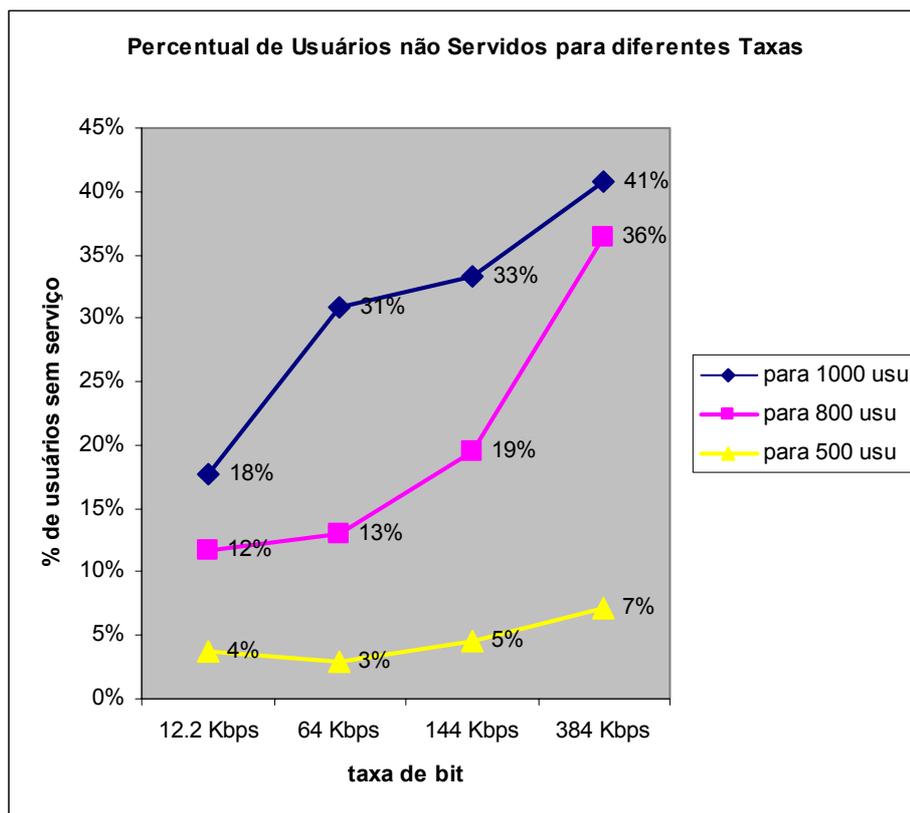


Figura 5.6 – Saturação do Sistema

A medida que o número total de usuários se aproxima de 800, o sistema começa a saturar principalmente para as taxas de bit mais altas. Verifica-se que no caso de 1000 usuários, o número de usuários sem serviço para de 64 Kbps é próximo ao número de 144 Kbps. Isso pode ser explicado pela distribuição dos usuários que foi feita de forma aleatória no espaço e provavelmente colocando usuários de altas taxas próximos uns dos outros.

## 5.2. Análise da variação da velocidade

Para avaliar a influência da velocidade na saturação dos sistemas WCDMA, foi feita a simulação de dois casos. Em ambos foram consideradas as quatro taxas em estudo. Os usuários foram divididos segundo os seguintes percentuais: 86% para voz, 6.8% para taxa de 64 Kbps, 4.5% para taxa de 144Kbps e 2.7% para taxa de 384 Kbps.

### *Usuários pedestres e usuários a uma velocidade de 50 Km/h*

A primeira análise compara o percentual de usuários sem serviço para dois casos, ambos com 500 usuários ativos. Primeiramente considerou-se todos os usuários a uma de velocidade de 50 Km/h e em seguida considerando todos uma velocidade de 3 Km/h, usuário pedestre. O resultado pode ser visto na tabela 5.7 e no gráfico 5.7 e a distribuição dos usuários pode ser vista na tabela 5.6.

| 12.2 Kbps | 64 Kbps | 144 Kbps | 384 Kbps |
|-----------|---------|----------|----------|
| 430       | 34      | 22       | 14       |

Tabela 5.6 – Número de usuários por taxa

|         | Percentual de usuários não servidos |         |          |          |
|---------|-------------------------------------|---------|----------|----------|
|         | 12.2 Kbps                           | 64 Kbps | 144 Kbps | 384 Kbps |
| 50 km/h | 4%                                  | 3%      | 5%       | 7%       |
| 3 km/h  | 1%                                  | 0%      | 5%       | 14%      |

Tabela 5.7 – Percentual de usuários não servidos variando a velocidade

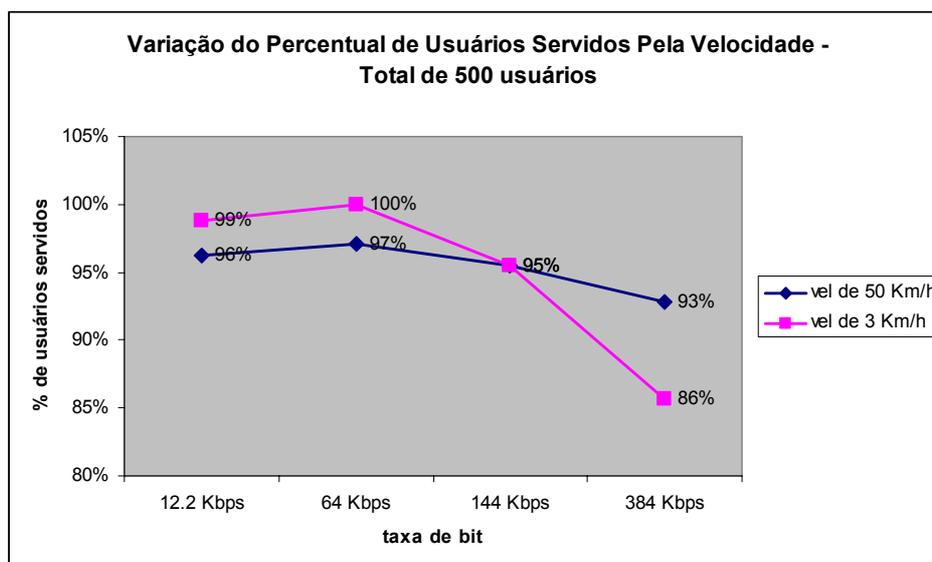


Figura 5.6 – Saturação do Sistema variando a Velocidade em 2 situações

Para velocidade de pedestres o sistema apresenta melhora para os usuários de voz e para as taxas baixas de dados, porém para altas taxas de dados o sistema apresenta uma piora de resultado, o que pode ser justificado pelo incremento no serviço das taxas baixas.

### *Usuários pedestres para voz e usuários a uma velocidade de 50 Km/h para taxa de dados*

A segunda análise compara o percentual de usuários sem serviço para três casos. Dois casos em condições iguais aos analisados no tópico acima, com a diferença de trabalhar com 1000 usuários e um terceiro caso onde todos os usuários de voz estão a uma velocidade de 50 km/h e os usuários de dados estão a uma velocidade de 3 km/h. O resultado pode ser visto na tabela 5.9 e no gráfico 5.8 e a distribuição dos usuários na tabela 5.8.

| 12.2 Kbps | 64 Kbps | 144 Kbps | 384 Kbps |
|-----------|---------|----------|----------|
| 860       | 68      | 45       | 27       |

Tabela 5.8 – Número de usuários por taxa 2

|                  | Percentual de usuários não servidos |         |          |          |
|------------------|-------------------------------------|---------|----------|----------|
|                  | 12.2 Kbps                           | 64 Kbps | 144 Kbps | 384 Kbps |
| 50 km/h          | 18%                                 | 31%     | 33%      | 41%      |
| 3 km/h           | 18%                                 | 19%     | 24%      | 48%      |
| 3 km/h e 50 km/h | 22%                                 | 25%     | 27%      | 37%      |

Tabela 5.9 – Percentual de usuários não servidos variando a velocidade

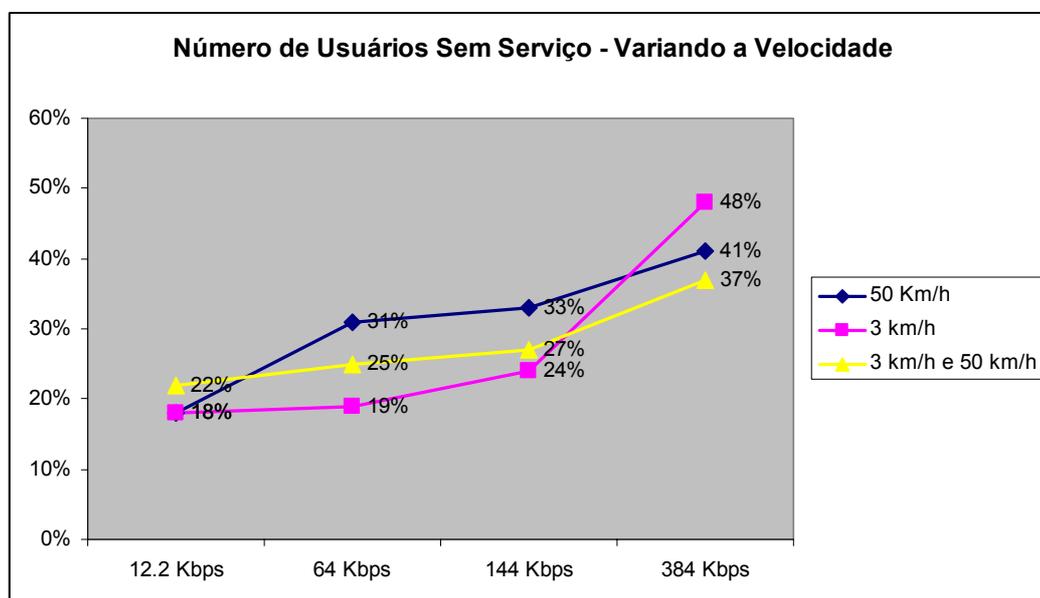


Figura 5.8 – Saturação do Sistema variando a Velocidade em 3 situações

Verifica-se que a situação que apresenta tanto usuários pedestres como a velocidades de 50 km/h gera uma curva intermediária, entre a curva só para usuários pedestres e a curva só para usuários a uma velocidade de 50 km/h.

### 5.3.

#### Varição dos percentuais de usuários de cada classe

Nesta seção a variação de carga considerada é relativa à variação de percentuais de usuários de cada classe (taxa de bit), conforme apresentado na tabela 5.10. A análise é feita para uma população de 500 usuários ativos. Cada perfil retrata o comportamento dos usuários – cada perfil é utilizado isoladamente para como estrada do programa. Os perfis utilizados estão apresentados na tabela 5.11.

| número de usuários e percentual por categoria |           |           |           |
|---|-----------|-----------|-----------|
| 12.2 Kbps                                     | 64 Kbps   | 144 Kbps  | 384 Kbps  |
| 430 – 86%                                     | 34 - 6.8% | 22 – 4.5% | 14 – 2.7% |
| 100 – 20%                                     | 100 – 20% | 150 – 30% | 150 – 30% |
| 100 – 20%                                     | 350 – 70% | 25 – 5%   | 25 – 5%   |
| 100 – 20%                                     | 150 – 30% | 200 – 40% | 50 – 10%  |

Tabela 5.10 – Número de usuários e percentual por taxa em cada perfil

Com as quatro simulações desses perfis foi encontrado o gráfico apresentado na figura 5.9 que apresenta o número de usuários servidos em cada perfil por taxa.

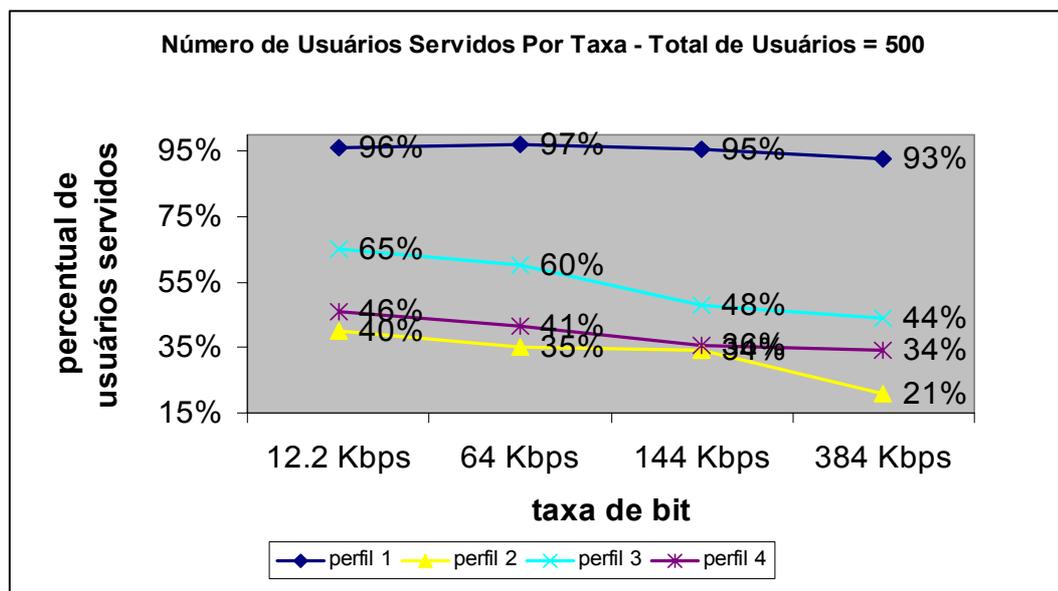


Figura 5.9 –Número de usuários servidos em cada perfil por taxa

É possível observar que a medida que aumentados o percentual de usuários nas altas taxas o sistema rapidamente sofre uma queda brusca de performance,

tanto para as taxas altas como para as taxas baixas. A curva do perfil 3, onde o número de usuários nas taxas de 144 Kbps e 384 Kbps é muito grande o sistema apresenta um rendimento ruim para todas as taxas, inclusive para as baixas.

#### 5.4. Análise da Performance do Sistema

Para analisar a performance do sistema foram escolhidos dois casos que seguem os mesmos percentuais de usuários por classe. O primeiro caso com 500 usuários e o segundo com 1000 usuários.

##### 5.4.1. Performance do Sistema para 500 Usuários

Para a simulação foram utilizados os dados de entrada apresentados na tabela 5.11. Para chegar ao número de usuários por taxa apresentado em 5.11, foram utilizados os percentuais de 86%, 6.8%, 4.5%, 2.7%, para as taxas de 12.2 Kbps, 64 Kbps, 144 Kbps e 384 Kbps.

| número de usuários |         |          |          |
|--------------------|---------|----------|----------|
| 12.2 Kbps          | 64 Kbps | 144 Kbps | 384 Kbps |
| 430                | 34      | 22       | 14       |

Tabela 5.11 – Número de usuários por taxa

Após a simulação do programa foram obtidos os seguintes percentuais de usuários não servidos:

| percentual de usuários não servidos |         |          |          |
|-------------------------------------|---------|----------|----------|
| 12.2 Kbps                           | 64 Kbps | 144 Kbps | 384 Kbps |
| 4%                                  | 3%      | 5%       | 7%       |

Tabela 5.12 – Percentual de usuários não servidos por taxa

O programa apresenta após a simulação uma série de gráficos, que serão apresentados a seguir, que traduzem a performance do sistema para a situação em estudo.

### 5.4.1.1. Número de Usuários Servidos e não servidos

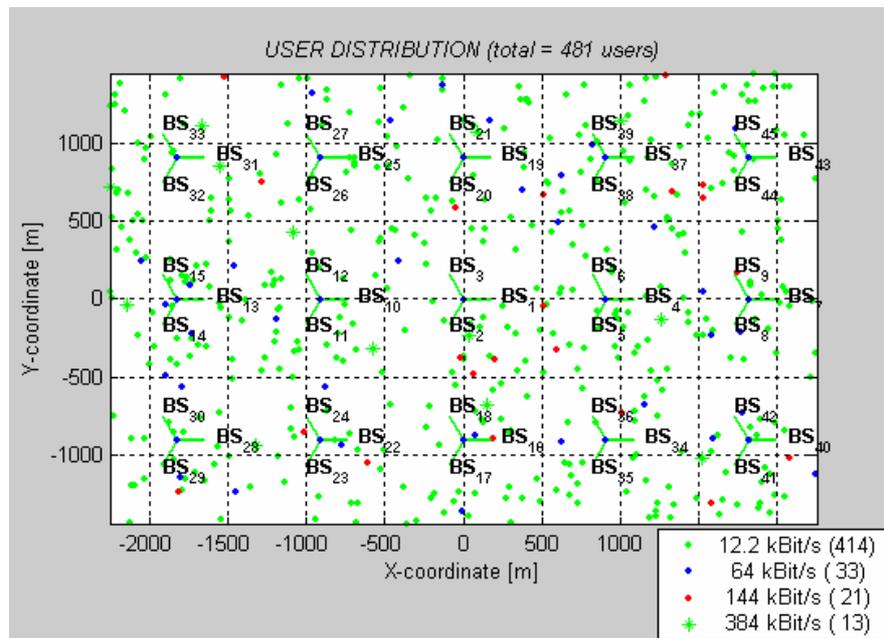


Figura 5.10 –Número de usuários servidos por taxa

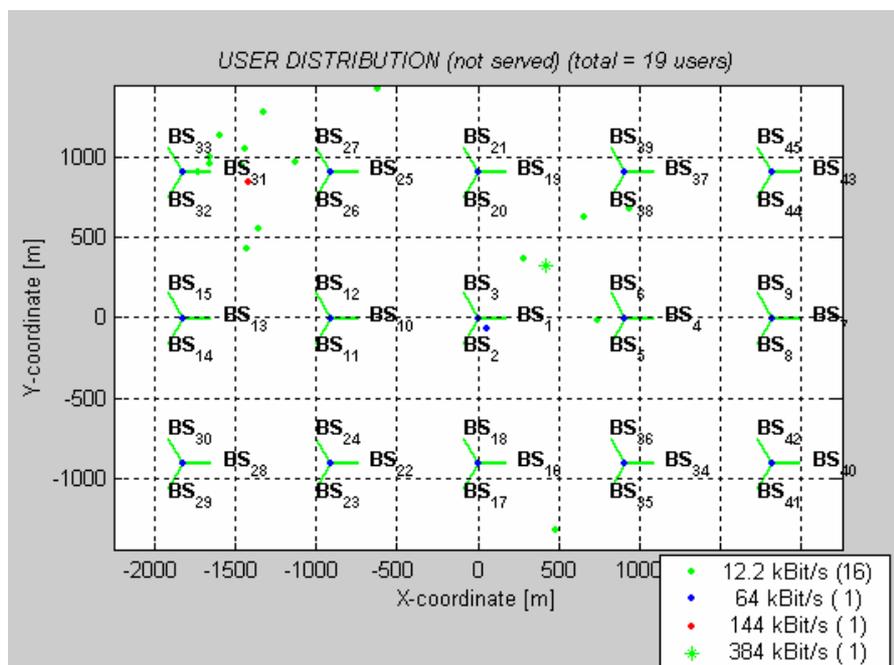


Figura 5.11 –Número de usuários não servidos por taxa

### 5.4.1.2. Melhor Servidor no Downlink e no Uplink

Para o uplink, o mapa mostra para qual estação base a estação móvel deveria transmitir com potência mínima. Na direção de downlink o mapa apresenta em

qual estação base o CPICH é mais bem recebido para uma determinada localidade da estação móvel.

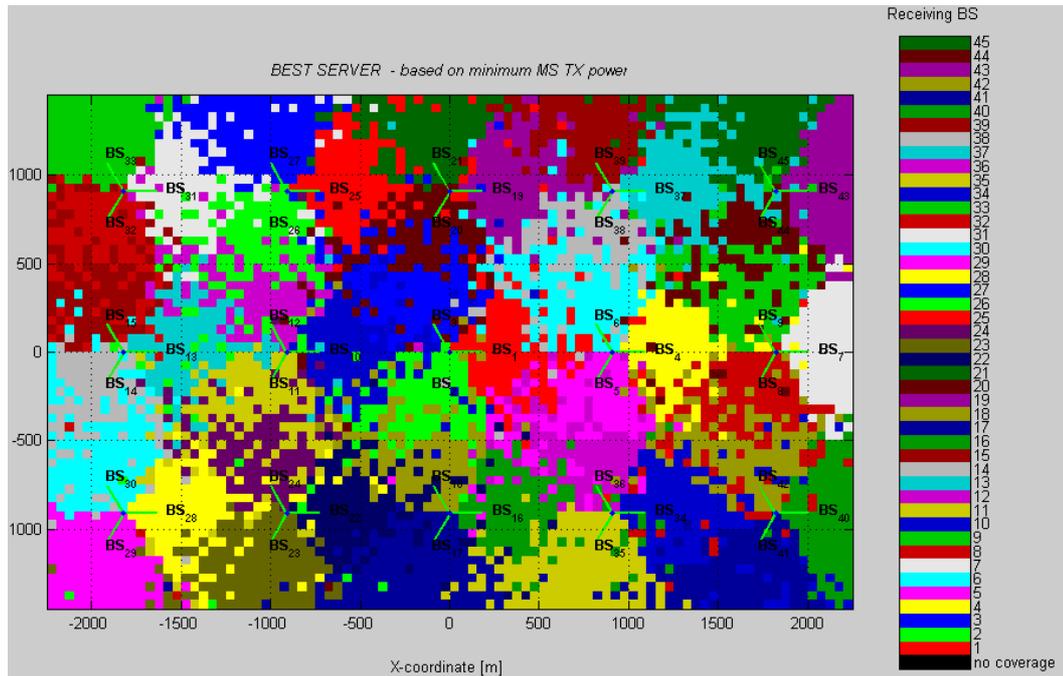


Figura 5.12 –Melhor Servidor no Uplink

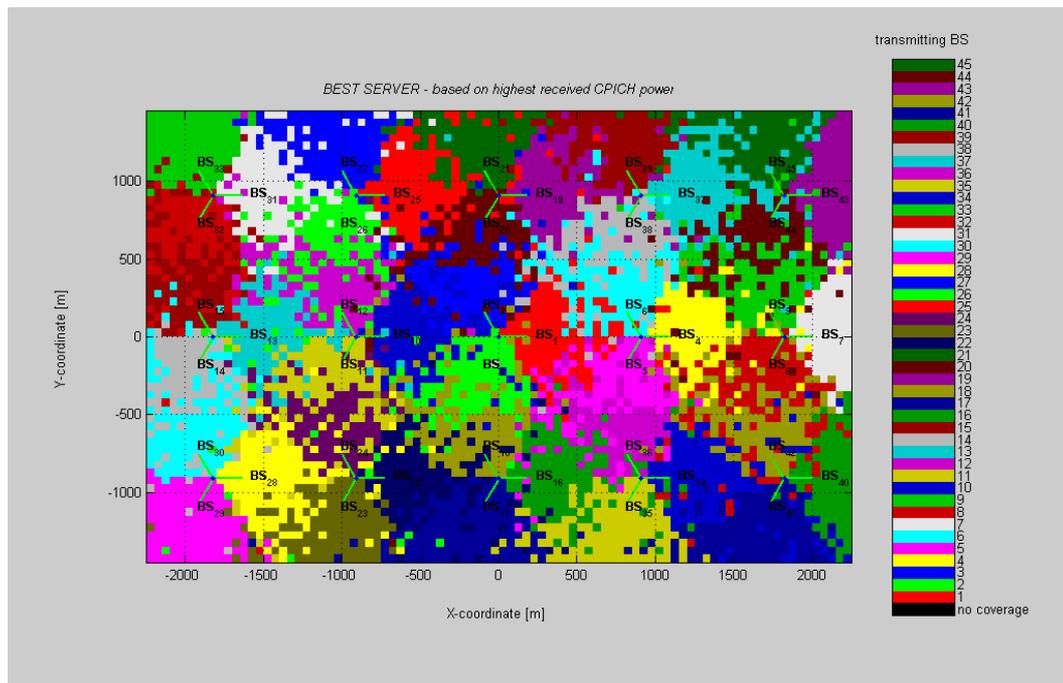


Figura 5.12 –Melhor Servidor no Downlink

#### 5.4.1.3. Número de portadoras Utilizadas

A saída apresenta um mapa com o número de portadoras utilizadas para cada estação base juntamente com o gráfico de melhor servidor no uplink. O

número de portadoras default para cada estação base é 1, mas durante as iterações de uplink as estações móveis podem sofrer interrupção para reduzir o tráfego. Neste caso o número de portadoras utilizadas é de 2.

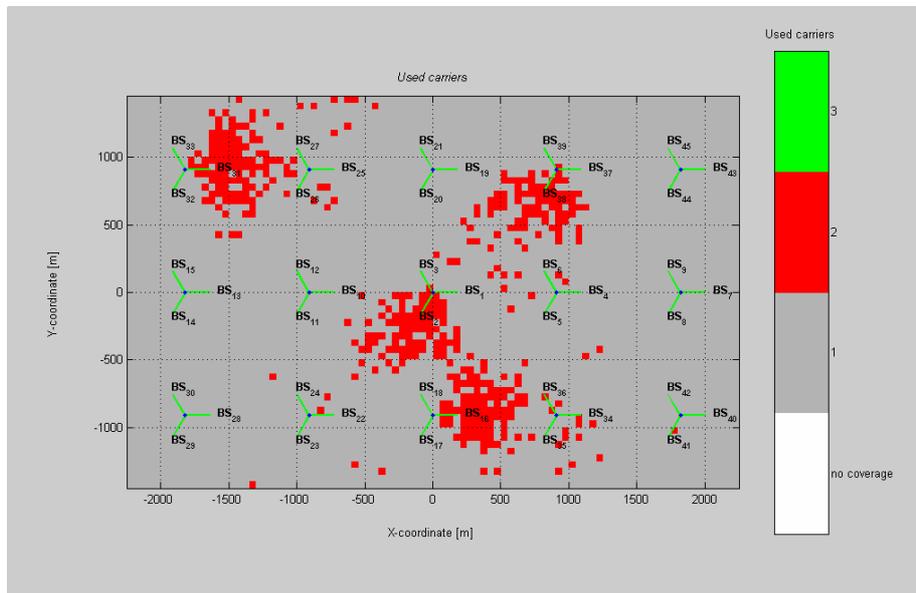


Figura 5.13 –Número de Portadoras

#### 5.4.1.4. Combinação de dominância no Downlink e Áreas de SHO

Esse item tem como saída um mapa que apresenta o CPICH com o maior nível de sinal recebido, juntamente com as áreas de SHO.

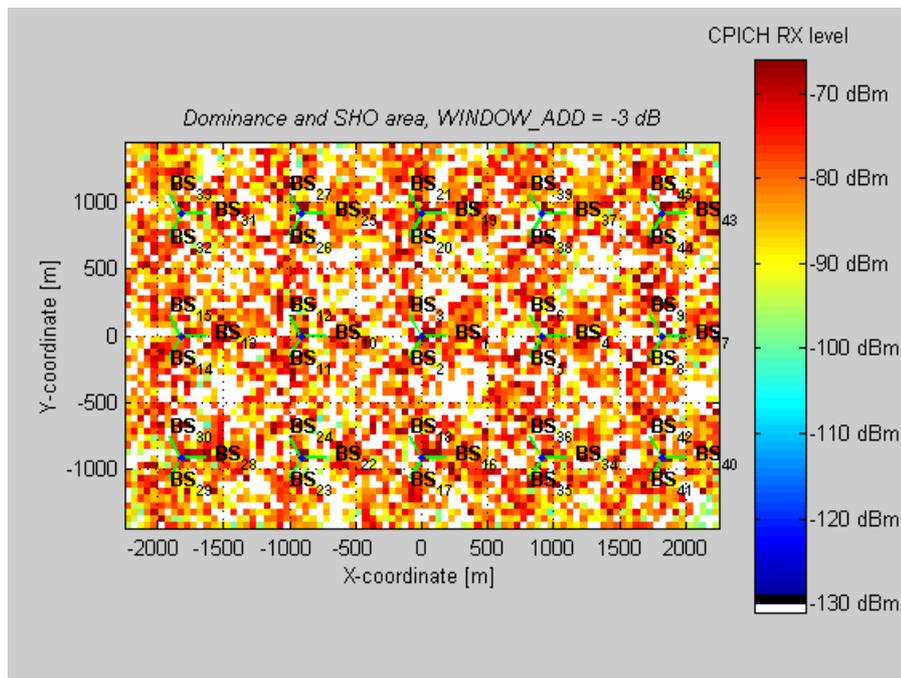


Figura 5.14 – Áreas com maior nível de CPICH recebido e áreas de SHO

#### 5.4.1.5. Áreas de SHO

Esse é o mesmo mapa apresentado em 5.4.1.4 mas apenas as áreas de SHO são apresentadas. O mapa é gerado junto com o mapa de 5.4.1.4.

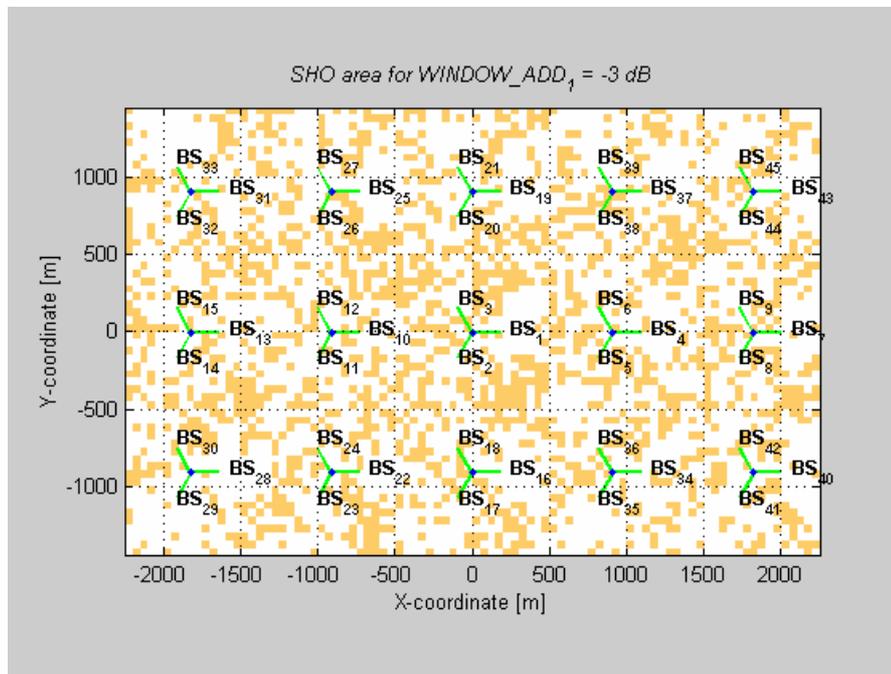


Figura 5.15 – Áreas de SHO

#### 5.4.1.6. Tráfego

São apresentados dois mapas para demonstrar o tráfego em cada site, juntamente com o mapa de melhor servidor. Pode ser visto tanto o mapa de tráfego causado pelos usuários da própria portadora sozinha ou o mapa do tráfego total, incluindo a interferência de outras portadoras.

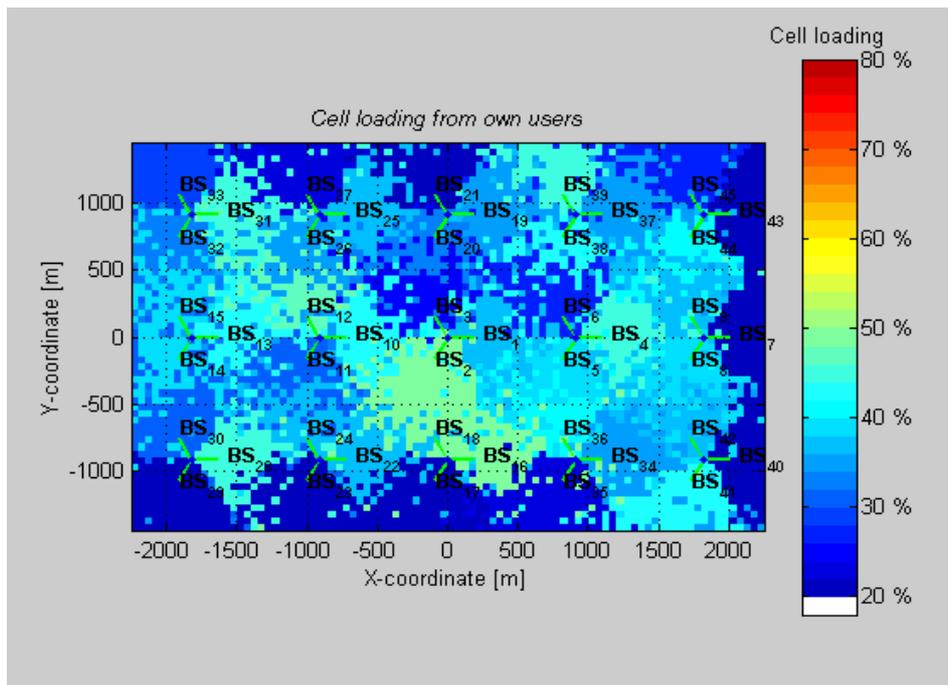


Figura 5.16 – Tráfego na célula pela própria portadora

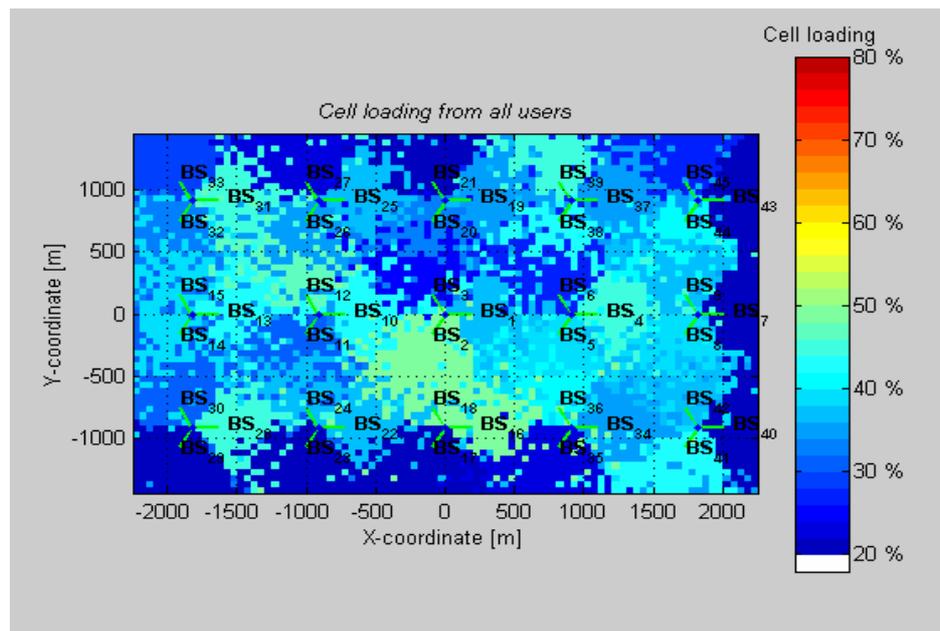


Figura 5.17 – Tráfego Total

#### 5.4.1.7. Interferência

Apresenta o mapa da razão entre interferência de todas as células e a interferência vindo da própria célula,  $i$ .

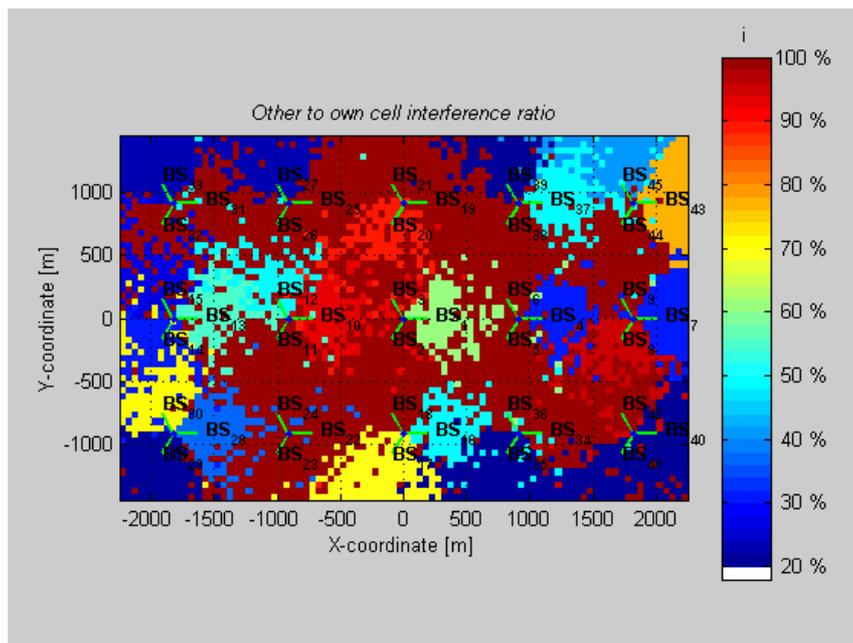


Figura 5.18 – Razão de Interferência

#### 5.4.1.8. SHO – Fator de Overhead

Uma figura apresentando o overhead por célula, juntamente com as conexões de SHO é plotado juntamente com o mapa de melhor servidor no uplink.

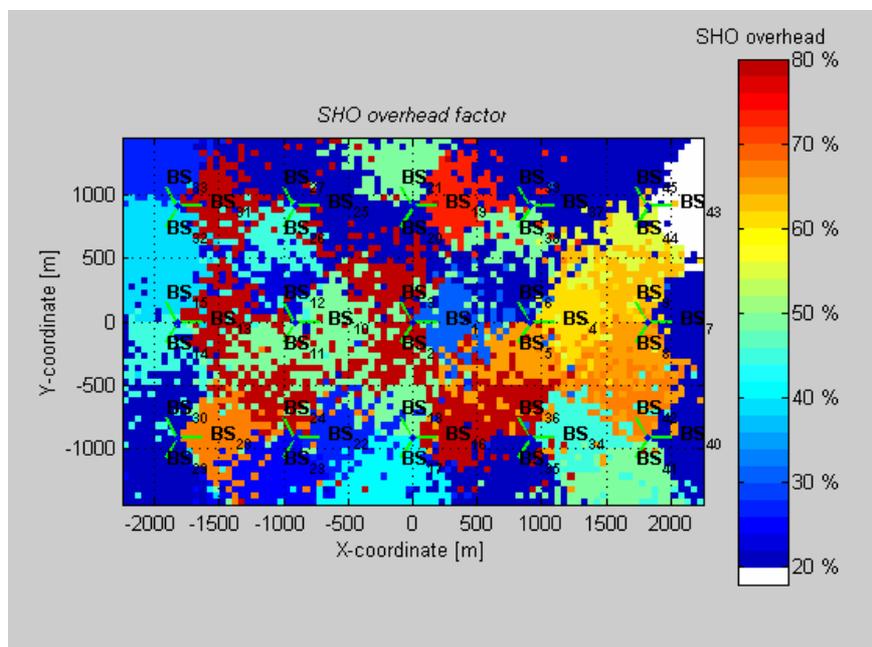


Figura 5.18 – SHO – fator de overhead

#### 5.4.1.9. Probabilidades de SHO

Dois gráficos de barras e um mapa são apresentados. Os gráficos de barras representam as estatísticas de SHO para usuários ativos na rede. O primeiro

apresenta o percentual de usuários que estão tendo conexões de SHO. O segundo está mostrando as probabilidades para diferentes tipos de conexões SHO. Em seguida um mapa é apresentado mostrando quantas conexões uma estação móvel poderia ter em cada pixel do mapa.

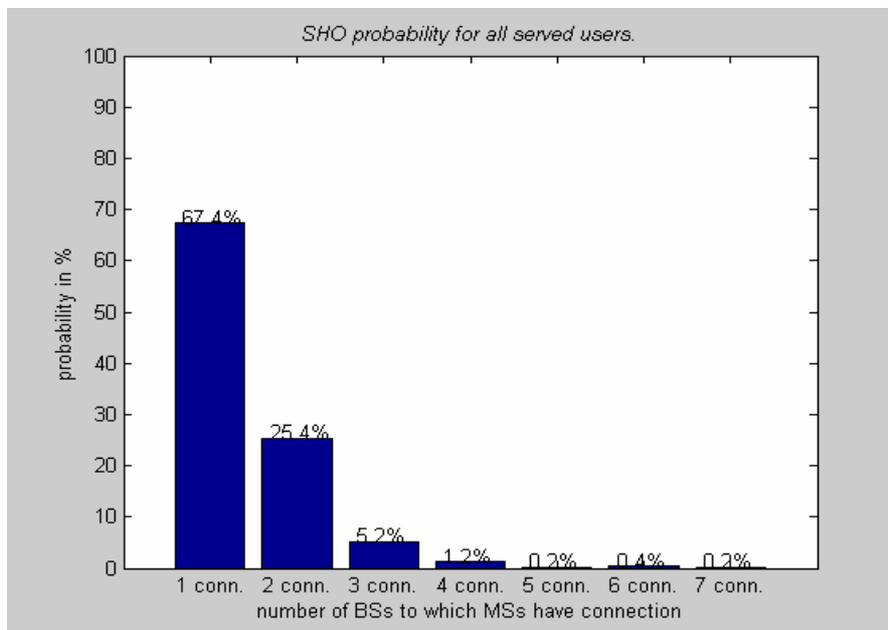


Figura 5.19 – Probabilidade de SHO

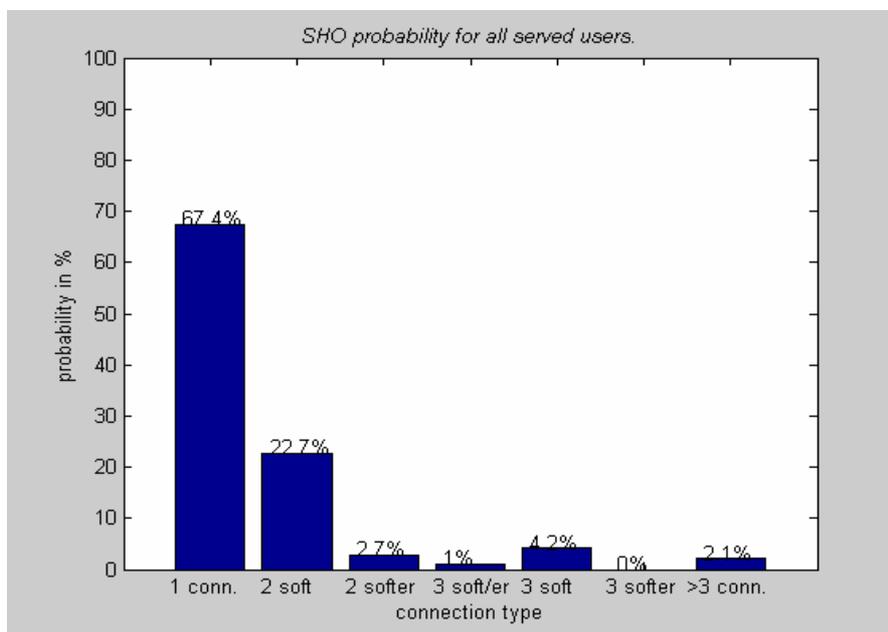


Figura 5.20 – As probabilidade para diferentes tipos de conexões SHO

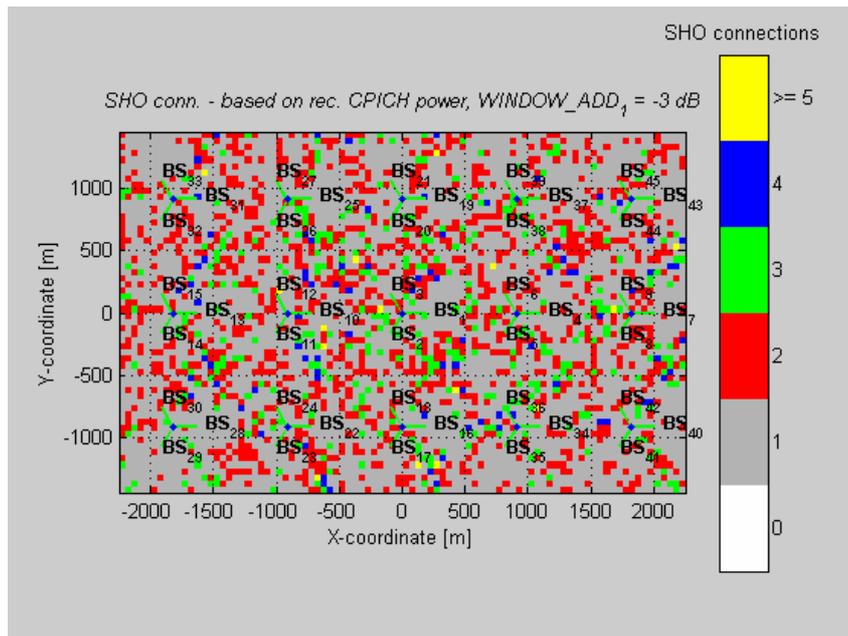


Figura 5.21 – Sites ativos para cada pixel

#### 5.4.1.10. Distribuição de tráfego

Um gráfico é gerado apresentando 4 subgráficos da situação de tráfego. O primeiro apresenta a taxa de bit acumulada em cada pixel do mapa. O segundo apresenta a taxa média de bit por célula, juntamente com o gráfico de melhor servidor. O terceiro e quarto gráficos apresentam a saída total nas direções de uplink e de downlink juntamente com o respectivo gráfico de melhor servidor.

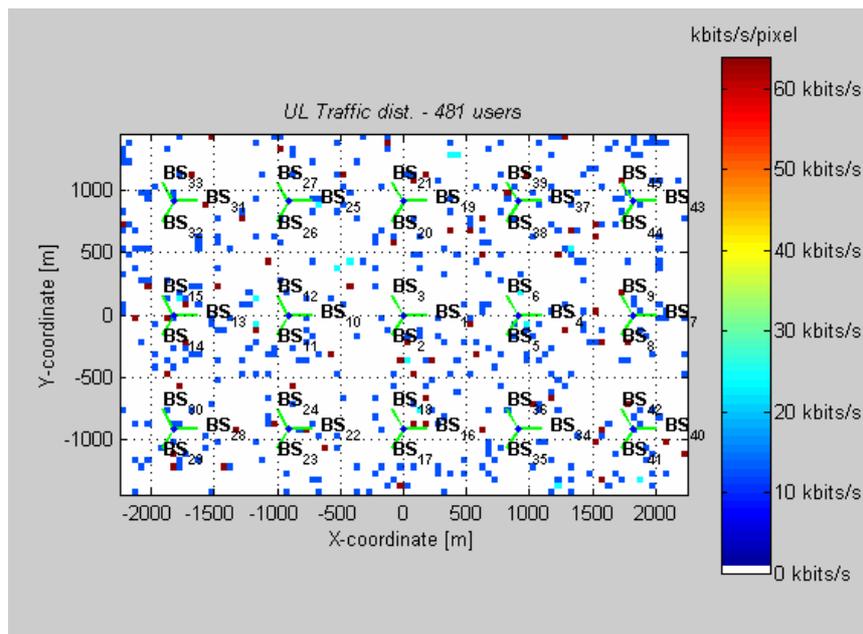


Figura 5.22 – O número de bits transmitidos por pixel

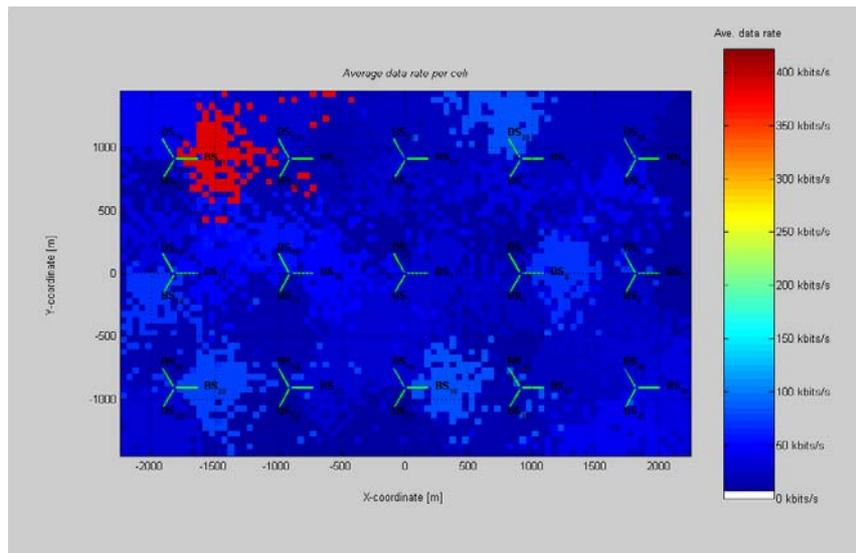


Figura 5.23 – O número médio de bits por célula na direção de uplink

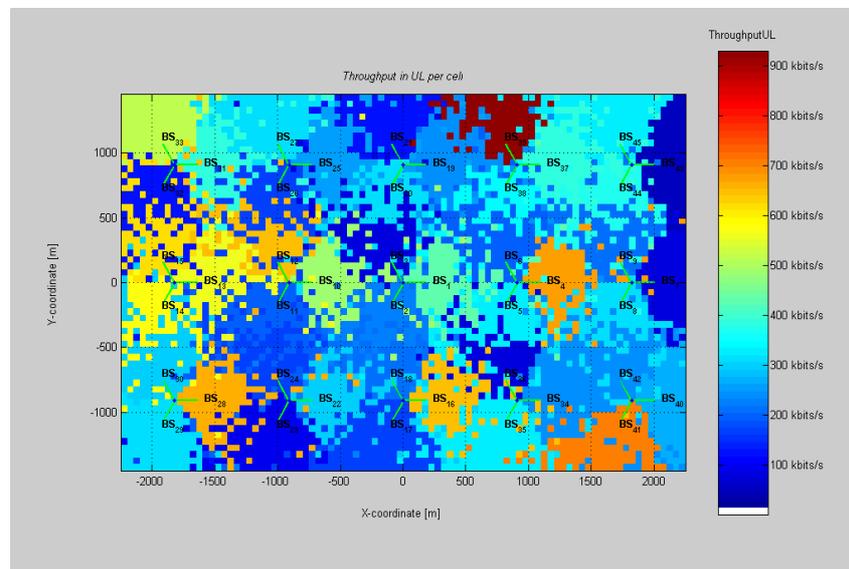


Figura 5.24 – A taxa de saída total; por célula no uplink

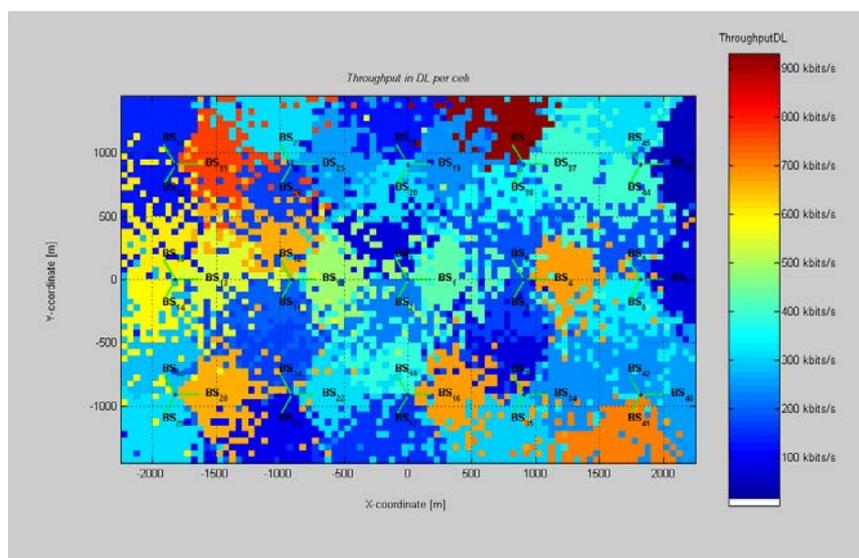


Figura 5.25 – A taxa de saída total; por célula no downlink

### 5.4.2. Performance do Sistema para 1000 Usuários

Para a simulação foram utilizados os dados de entrada apresentados na tabela 5.13. Para chegar ao número de usuários por taxa apresentado em 5.13, foram utilizados os percentuais de 86%, 6.8%, 4.5%, 2.7%, para as taxas de 12.2 Kbps, 64 Kbps, 144 Kbps e 384 Kbps.

| <b>número de usuários</b> |                |                 |                 |
|---------------------------|----------------|-----------------|-----------------|
| <b>12.2 Kbps</b>          | <b>64 Kbps</b> | <b>144 Kbps</b> | <b>384 Kbps</b> |
| 860                       | 68             | 45              | 27              |

Tabela 5.13 – Número de usuários por taxa

Após a simulação do programa foram obtidos os seguintes percentuais de usuários não servidos:

| <b>percentual de usuários não servidos</b> |                |                 |                 |
|--|----------------|-----------------|-----------------|
| <b>12.2 Kbps</b>                           | <b>64 Kbps</b> | <b>144 Kbps</b> | <b>384 Kbps</b> |
| 22%  | 26%            | 18%             | 44%             |

Tabela 5.14 – Percentual de usuários não servidos por taxa

O programa apresenta após a simulação uma série de gráficos, que serão apresentados a seguir, que traduzem a performance do sistema para a situação em estudo. O conteúdo de cada gráfico é o mesmo explicado em 5.4.1..

### 5.4.2.1. Número de Usuários Servidos e não servidos

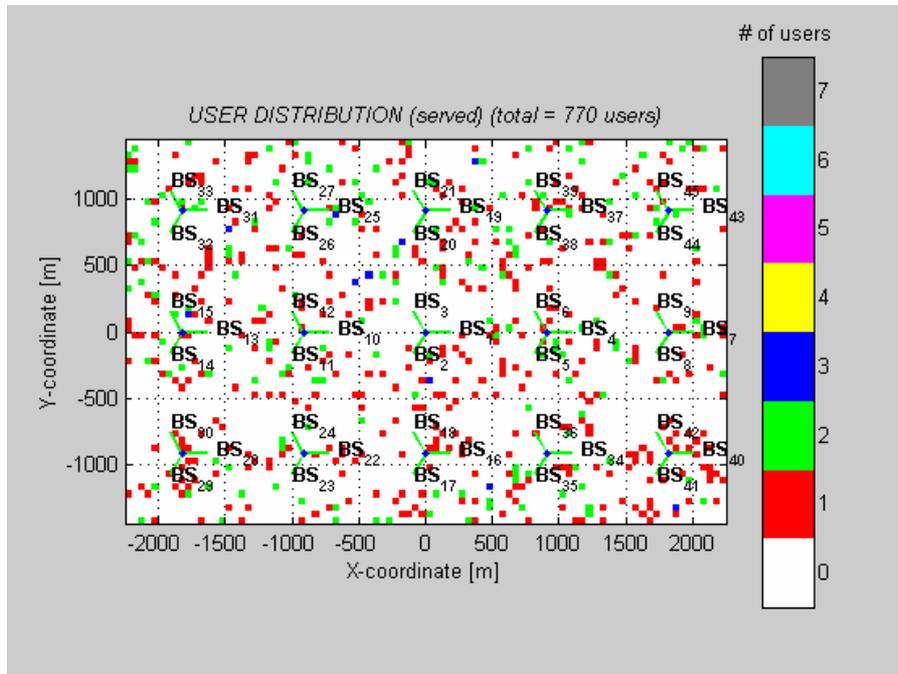


Figura 5.26 –Número de usuários servidos por taxa

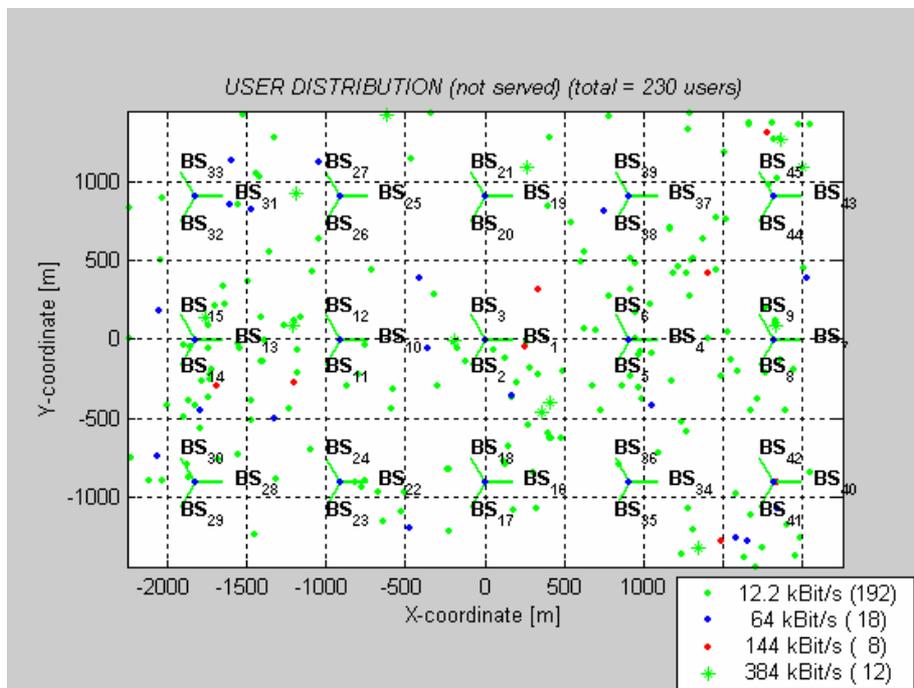


Figura 5.27 –Número de usuários não servidos por taxa

### 5.4.2.2. Melhor Servidor no Downlink e no Uplink

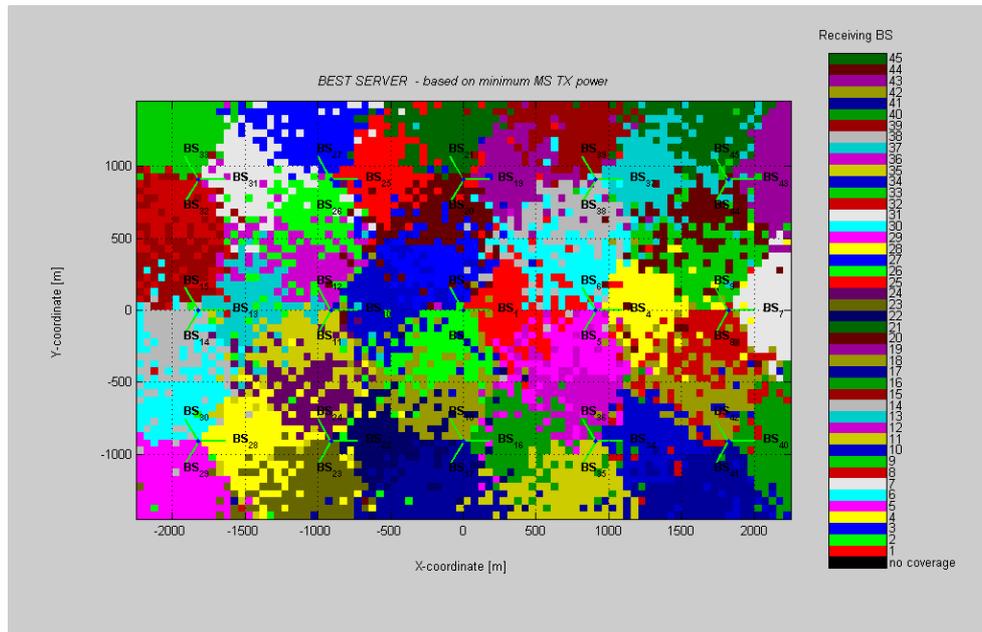


Figura 5.28 – Melhor Servidor no Uplink

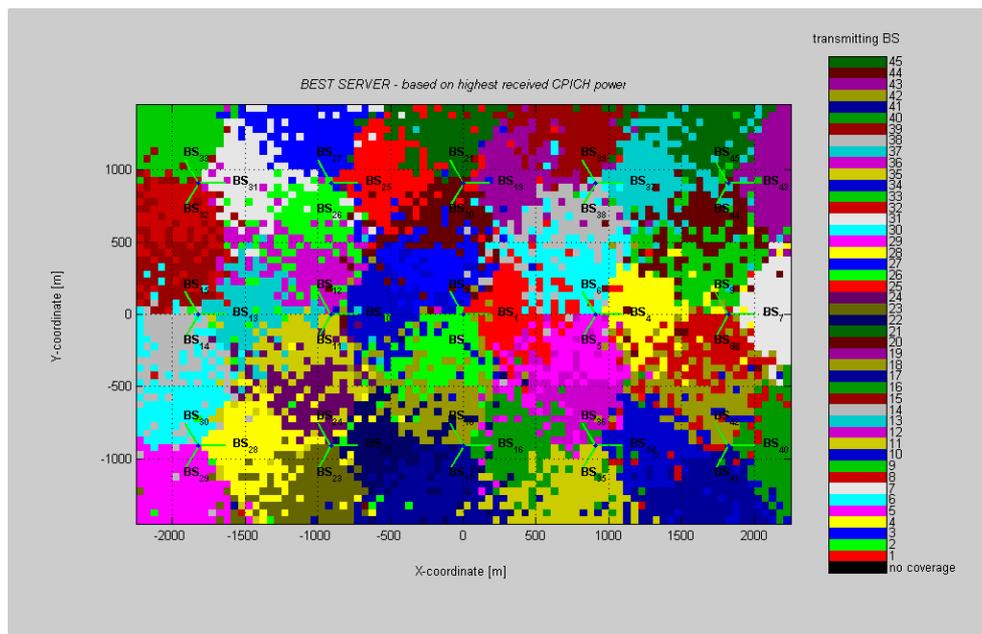


Figura 5.29 – Melhor Servidor no Downlink

### 5.4.2.3. Número de portadoras Utilizadas

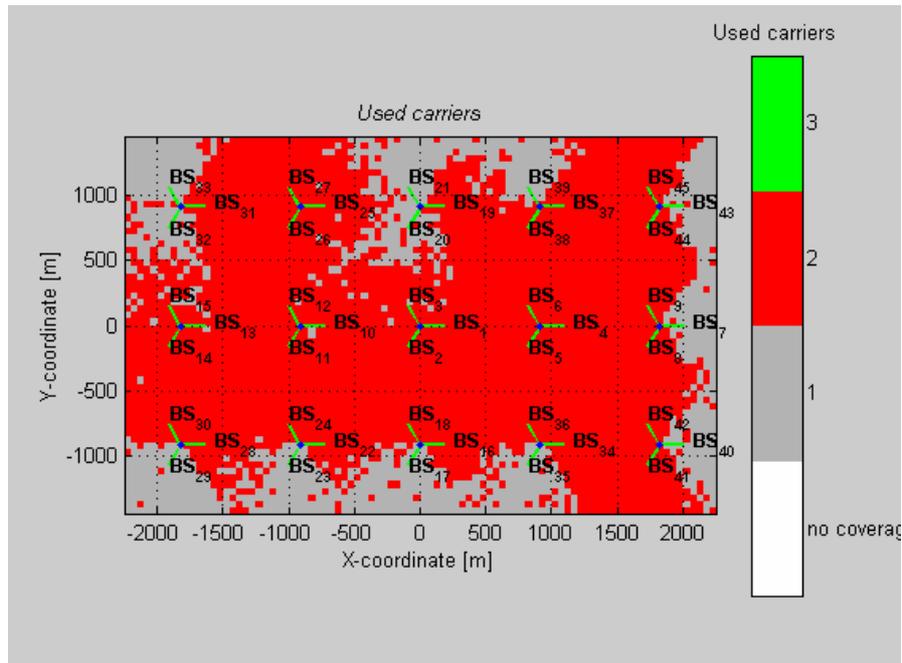


Figura 5.30 –Número de Portadoras

### 5.4.2.4. Combinação de dominância no Downlink e Áreas de SHO

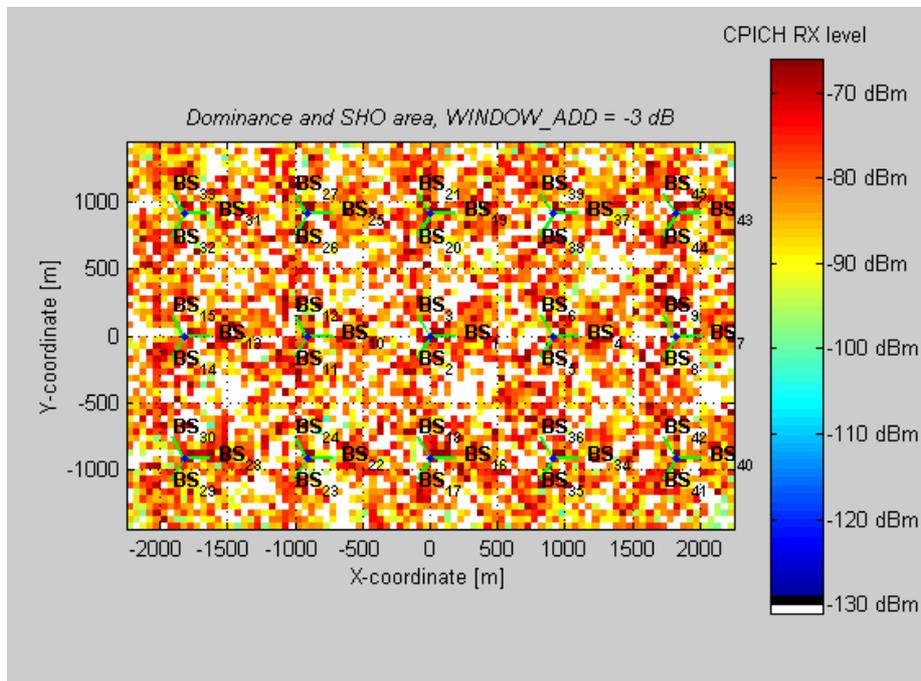


Figura 5.31 – Áreas com maior nível de CPICH recebido e áreas de SHO

### 5.4.2.5. Áreas de SHO

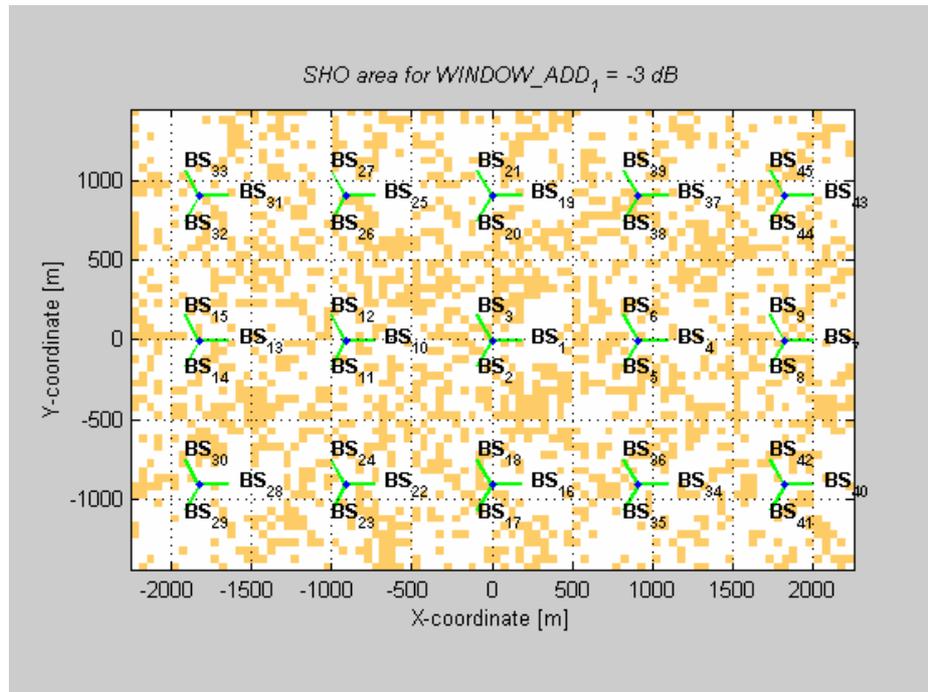


Figura 5.32 – Áreas de SHO

### 5.4.2.6. Tráfego

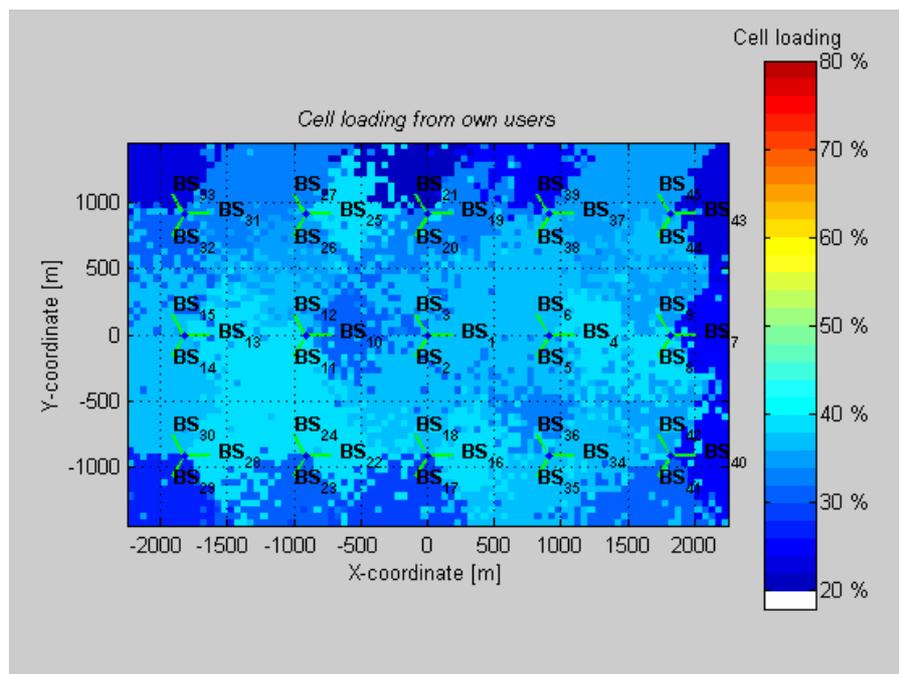


Figura 5.33 – Tráfego na célula pela própria portadora

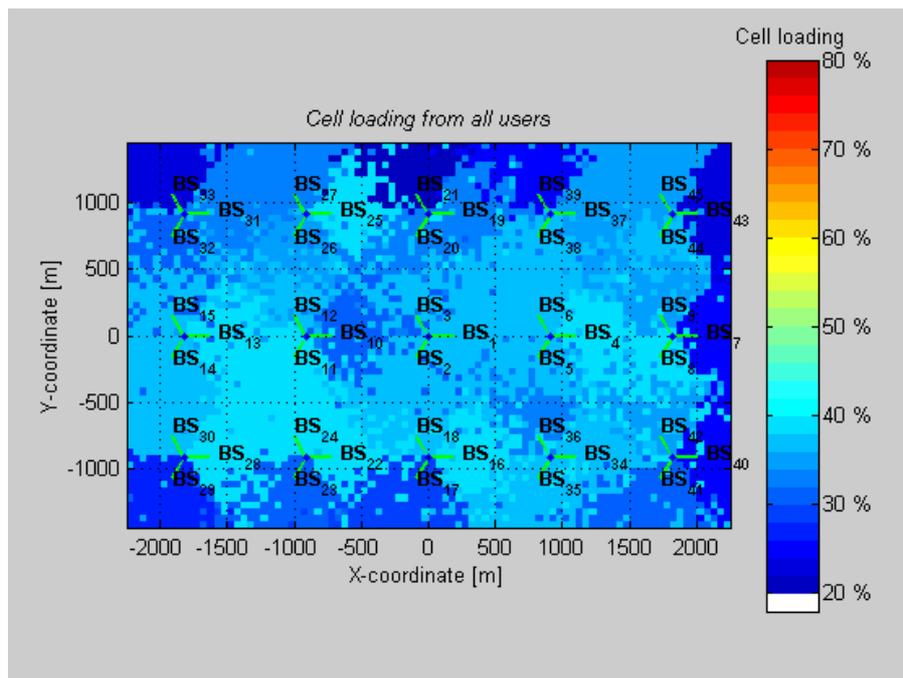


Figura 5.34 – Tráfego Total

#### 5.4.2.7. Interferência

Apresenta o mapa da razão entre interferência de todas as células e a interferência vindo da própria célula,  $i$ .

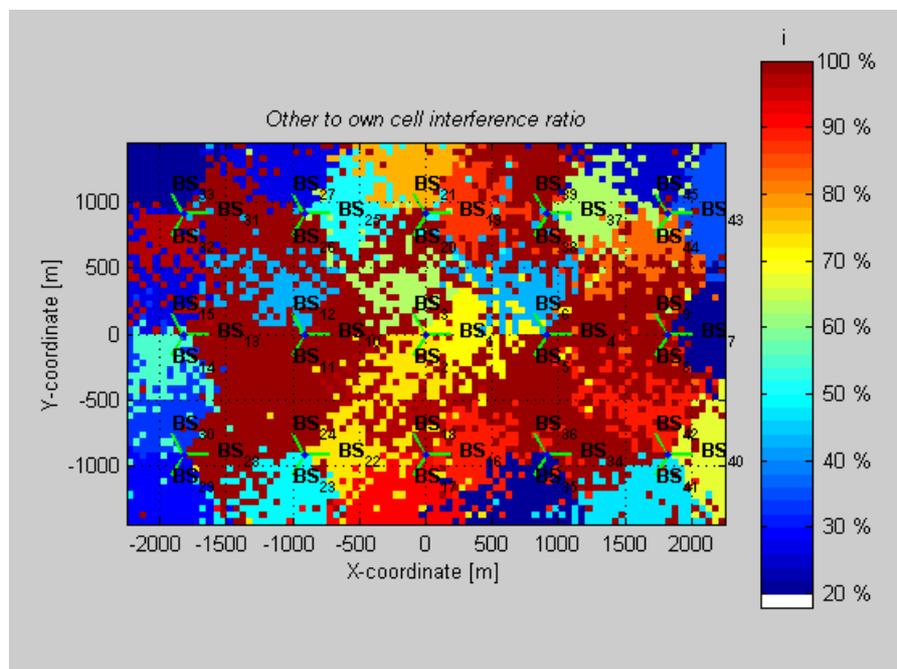


Figura 5.35 – Razão de Interferência

#### 5.4.2.8. SHO – Fator de Overhead

Uma figura apresentando o overhead por célula, juntamente com as conexões de SHO é plotado juntamente com o mapa de melhor servidor no uplink.

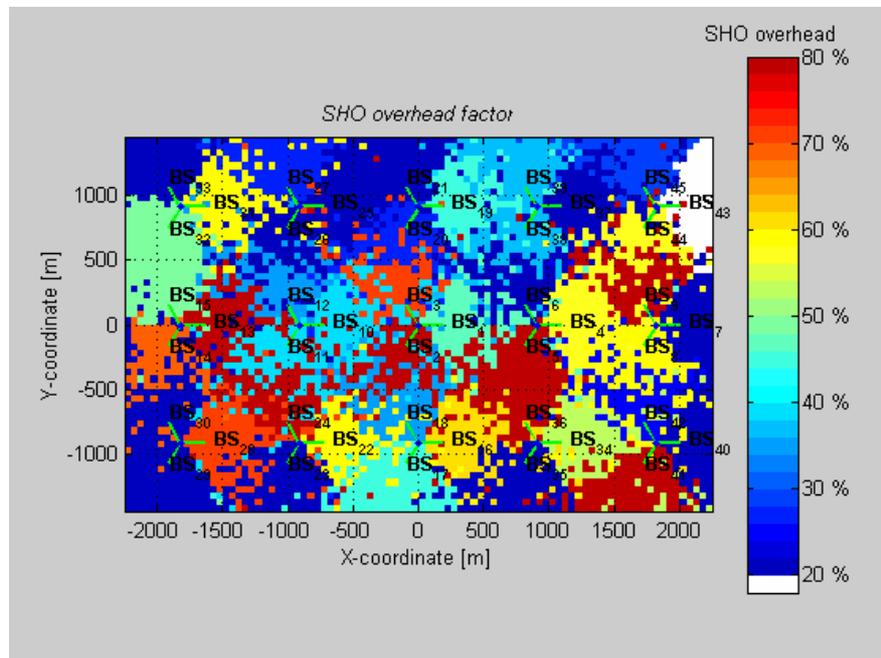


Figura 5.36 – SHO – fator de overhead

### 5.4.2.9. Probabilidades de SHO

O primeiro gráfico apresenta o percentual de usuários que estão tendo conexões de SHO e o segundo mapa mostra quantas conexões uma estação móvel poderia ter em cada pixel do mapa.

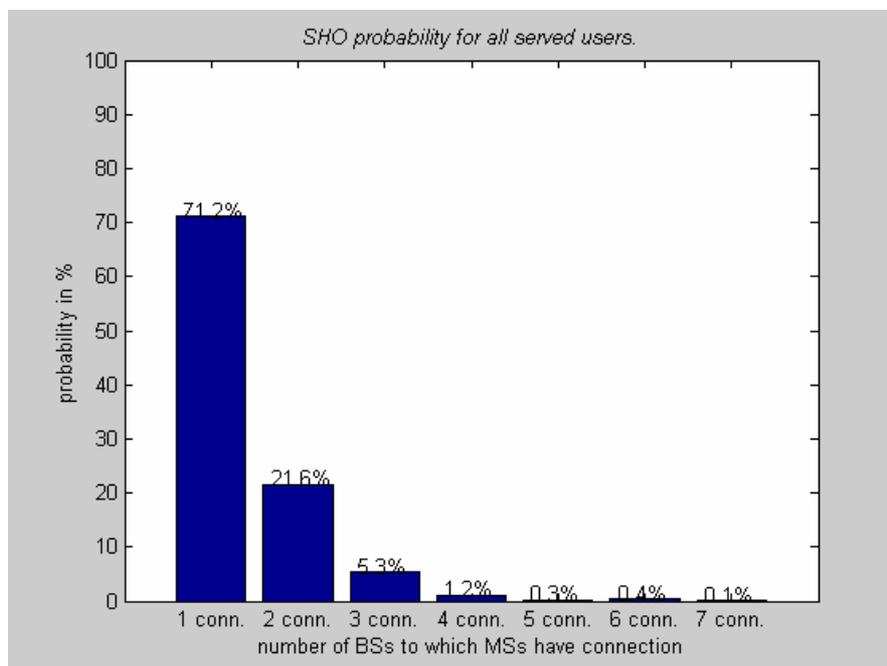


Figura 5.37 – Probabilidade de SHO

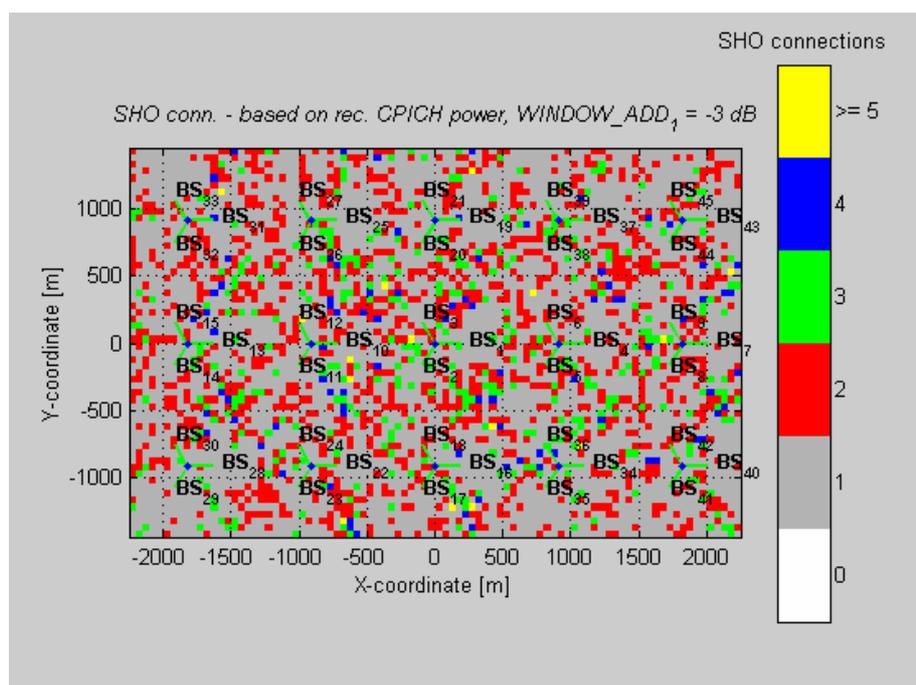


Figura 5.39 – Sites ativos para cada pixel

### 5.4.2.10. Distribuição de tráfego

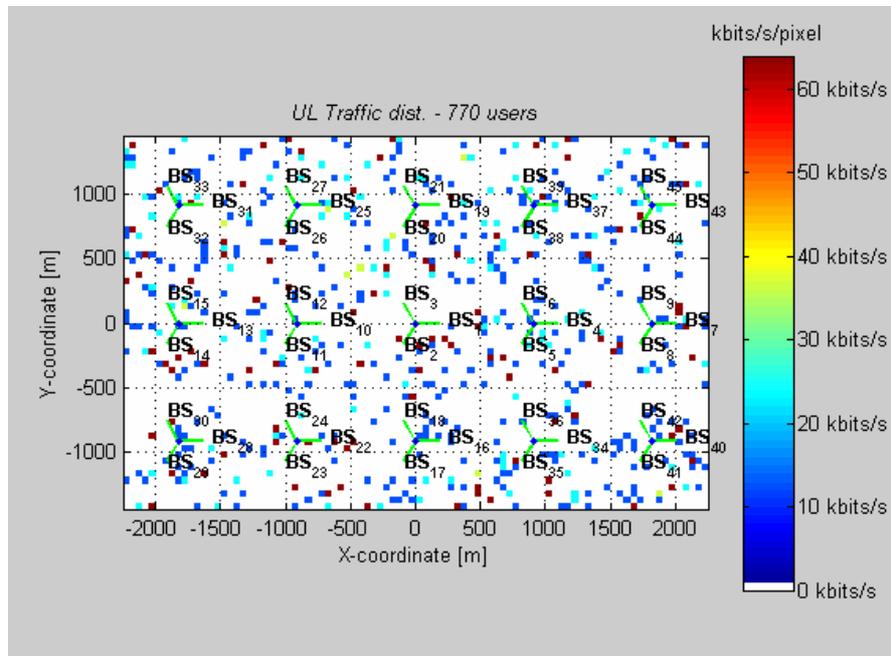


Figura 5.40 – O número de bits transmitidos por pixel

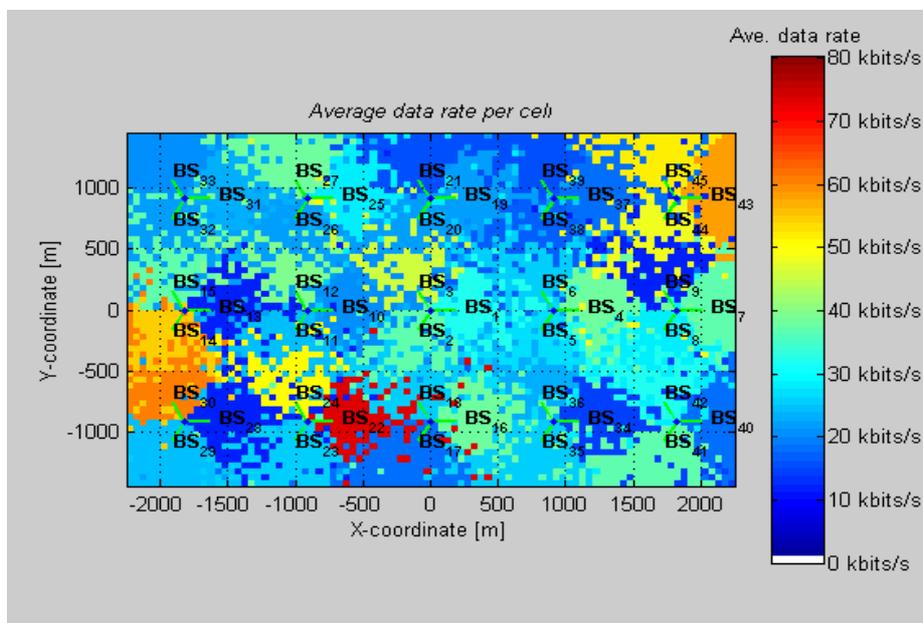


Figura 5.41 – O número médio de bits por célula na direção de uplink

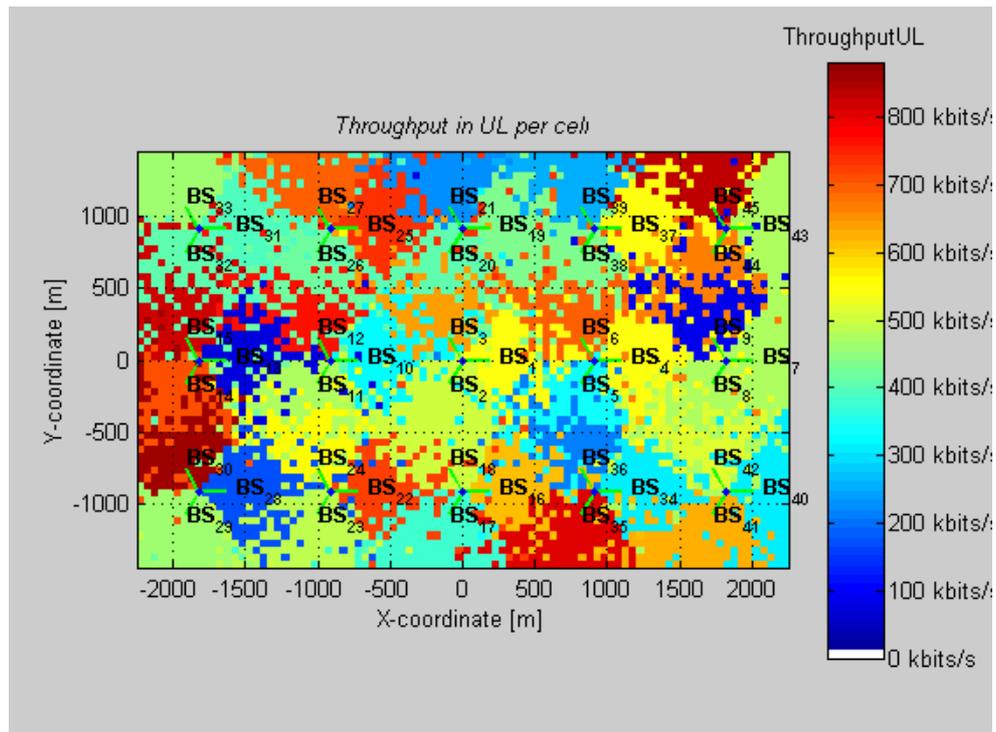


Figura 5.42 – A taxa de saída total; por célula no uplink

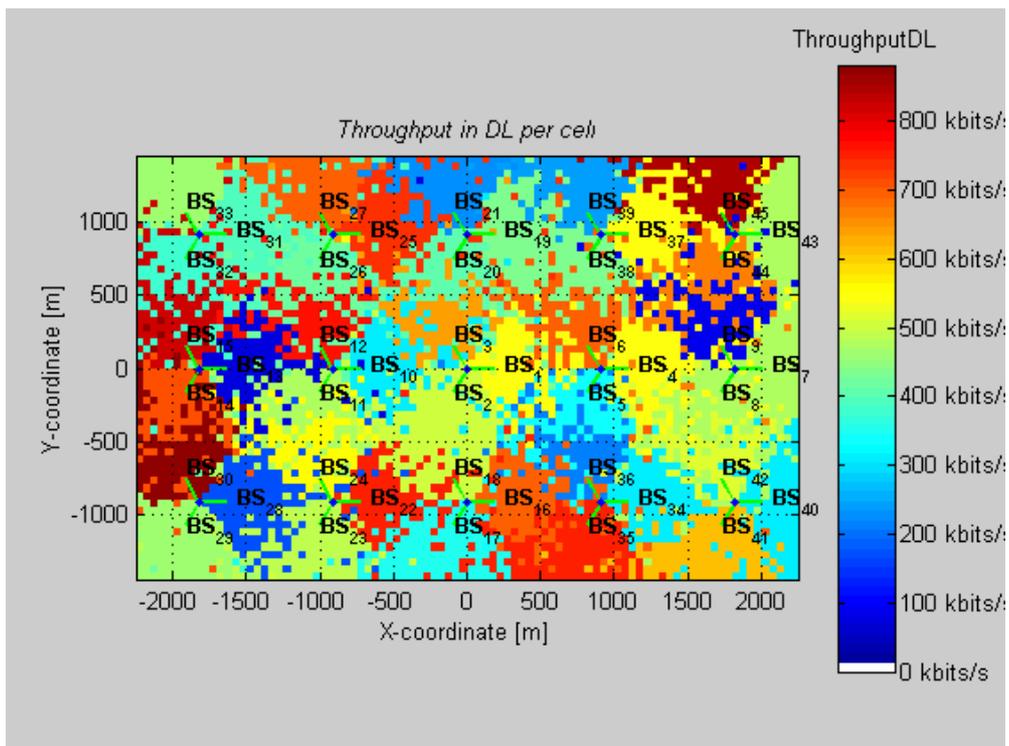


Figura 5.43 – A taxa de saída total; por célula no downlink