

## Redes Integradas com Qualidade de Serviço: Dimensionamento e Análise Tecno-Económica

Daniel Correia Martins, Pedro Alexandre Tavares Santiago, José Pedro Borrego, Amaro de Sousa, A.Manuel de Oliveira Duarte

**Resumo** – Neste artigo apresentam-se as metodologias de dimensionamento e análise tecno-económica da rede UMTS, com parâmetros baseados no projecto TONIC. Este estudo focou-se essencialmente no dimensionamento das redes Core e de Acesso, e no estudo de implementação de WLAN em três pontos estratégicos da cidade de Aveiro: Universidade de Aveiro, Estádio Municipal e Centro Comercial Fórum.

**Abstract** – This paper presents the dimensioning methodologies and techno-economic analysis of the UMTS network, with parameters based on TONIC project. This study is essentially focused on the Core network and on Access network, and on the study of WLAN implementation in three strategic points in the city of Aveiro: University of Aveiro, Municipal Stadium and Fórum shopping Center.

### I. INTRODUÇÃO

Investimentos significativos na infra-estrutura da rede UMTS, justificam uma análise cuidadosa dos reais requisitos da rede. Este estudo tem como objectivo contribuir para a optimização das ligações na rede Core e na rede de Acesso, minimizando os custos das linhas alugadas, garantindo a qualidade de serviço e largura de banda desejadas. Realizou-se um dimensionamento dos recursos da rede, utilizando uma ferramenta própria para este objectivo – PTPlan MPLS [1], considerando um modelo de rede apropriado baseado em parâmetros especificados pelo projecto TONIC (TechnO-ecoNomISs of IP optimised networks and services) no seu BC1. Este estudo também apresenta o dimensionamento de redes de acesso WLAN e a respectiva análise tecno-económica, considerando-se três locais estratégicos com grande densidade populacional como possíveis cenários para a implementação de uma rede de acesso WLAN em 2004 na cidade de Aveiro: Universidade de Aveiro, Estádio Municipal e Centro Comercial Fórum. A rede de acesso em estudo poderá pertencer a um operador móvel de terceira geração já implementado no mercado, ou então, pertencer a um novo operador que só é detentor da rede de acesso WLAN para assim fornecer serviços de banda larga.

### II. REDE CORE

Para manter a mesma lógica seguida no TONIC BC1, serão considerados dois cenários distintos: Países

Pequenos e Países Grandes. O número de nós de comutação e de routing da rede Core (CN sites) é fixo para os dois casos, e distribuídos homogeneamente pela área do país. Para simplificar os cálculos das distâncias entre os CN sites, a área do país é representada por uma forma geométrica conveniente (quadrado para Países Pequenos e rectângulo para Países Grandes). Consoante o tráfego gerado pelo TONIC BC1, será determinado o número e o tipo das ligações da rede Core que minimizam os custos da rede total, garantindo os requisitos de tráfego definidos.

Assume-se que cada CN site tem aproximadamente o mesmo número de clientes. Para os cálculos, a área de um país é na realidade a área de cobertura e não a área total, porque no geral, as infra-estruturas estão localizadas perto dos equipamentos da rede que estão dentro da área de cobertura.

Seguindo a metodologia do TONIC, considera-se a mesma divisão de tráfego (entregue à rede Core): conversação e streaming, background. Neste modelo, assume-se que o primeiro caso (conversação e streaming) são do tipo comutação de circuitos, por outro lado, o tráfego de background é do tipo comutação de pacotes. Não é provável que todo tráfego gerado na nossa rede tenha como destino a rede fonte. Assim é assumido para os serviços Conversational e Streaming, que apenas 2/3 do tráfego total é interno ao operador da rede e o remanescente vai para outras redes externas, assumindo que para serviços de telefonia, a maioria das pessoas contacta a família e amigos, que usam o mesmo operador de rede e vivem na mesma região geográfica ou vizinha.

Não é comum que um operador tenha disponível em cada site CN uma ligação às redes externas que assegura o tráfego partida/chegada de/para outras redes (redes externas tipo PSTN, Internet, etc.), porque seria uma solução cara, alternativamente é considerado que poucos sites têm ligação para as redes externas. Este facto contribui para um aumento ligeiro do tráfego nas ligações da rede Core devido ao número reduzido de acessos para o exterior.

Para tráfego de background, é assumido que metade do tráfego total é interno ao operador de rede, porque no geral esta espécie de tráfego é tipicamente originada por serviços Internet cujos servidores estão frequentemente

localizados no exterior da rede do operador, esta é a razão por que nós designamos uma percentagem significativa (50%) para este tráfego

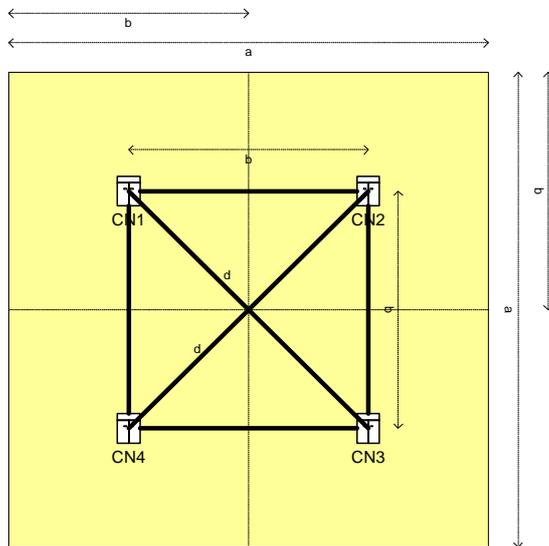


Fig. 1 - Modelo geométrico para um País Pequeno.

**A. Países Pequenos**

Considerando a área total de cobertura num país pequeno de 268000Km<sup>2</sup>, valor do TONIC. Então cada lado do quadrado é dado por:

$$a = \sqrt{\text{áreatotalcobertura}} = \sqrt{268000} = 517.69 \text{ km}$$

As distâncias entre CN1-CN2, CN2-CN3, CN3-CN4 e CN4-CN1 são:

$$b = \frac{a}{2} = \frac{517.69}{2} = 258.84 \text{ km}$$

As distâncias entre CN1-CN3 e CN2-CN4 são:

$$d = \sqrt{2b^2} = b\sqrt{2} = 258.84 * \sqrt{2} = 366.06 \text{ km}$$

Nos Países Pequenos assumiu-se 2 pontos de acesso para estabelecer ligações para redes externas. O tráfego é igualmente provável para todos os destinos (todos os outros sites da rede Core). Assim o tráfego total conversacional e streaming é dividido por 4 para obter o tráfego gerado por cada site CN, 1/3 daquele tráfego é interno ao site, e o remanescente 2/3 é igualmente entregue aos 3 sites, corresponde a entregar 2/9 do tráfego a cada outro CN site.

Para tráfego de background, metade considera-se interno a cada site, e o remanescente é entregue igualmente aos outros 3 sites, porque é suposto que o operador distribua servidores segundo os clientes alvo numa determinada área. Por exemplo, tem-se um serviço utilizado por um número significativo de pessoas, todas elas dentro a mesma região (servida pelo mesmo nó – site CN), é credível que o operador instale o servidor respectivo naquela região. Assim, pode-se aceitar que o tráfego

gerado por este serviço não desperdiça recursos de rede

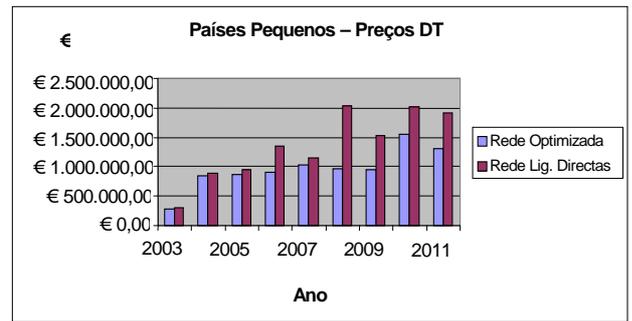


Fig. 2 - Diferenças entre os custos das redes optimizada e não-optimizada (Países Pequenos usando os preços da Deutsche Telekom)

Core significativos.

A Fig. 2, mostra graficamente os resultados obtidos que já incluem preços de instalação.

Como se pode constatar, o operador pode ganhar cerca 400000 €, se otimizar a rede, e em média obtém ganhos de 24% por ano.

Exemplos de cenários optimizados podem-se observar na figura 3.

**B. Países Grandes**

Para um país grande temos 15 CN sites, agora é útil considerar um retângulo dividido em 15 quadrados básicos, com o comprimento de 5 vezes o lado do quadrado básico, e uma largura com 3 vezes o quadrado básico.

Para um País Grande a área total de cobertura é 344000 km<sup>2</sup>. Para calcular a distância básica entre os CN sites adjacentes (unicamente na direcção vertical e horizontal) a distância, d, é obtida da seguinte maneira:

$$\text{Areatotalcobertura} = 3d \times 5d = 15d^2$$

$$\Rightarrow d = \sqrt{\frac{\text{areatotalcobertura}}{15}} = \sqrt{\frac{344000}{15}} = 151.44 \text{ km}$$

Para este estudo, há 3 pontos de acesso (CN1, CN8, CN15) estabelecendo ligação para redes externas. É assumido que todo o tráfego é igualmente provável para

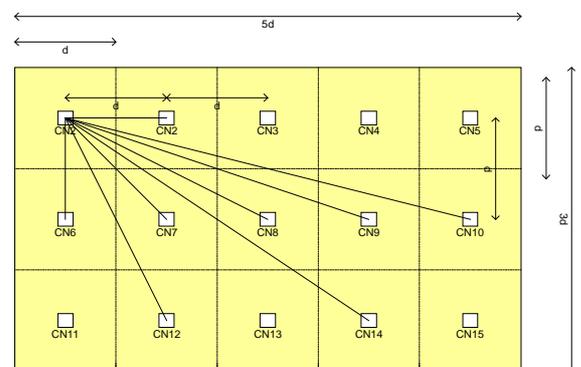


Fig. 4 - Modelo geométrico para um País Pequeno.

todos destinos (todos sites de rede Core). Neste caso, temos 15 CN sites, assim o tráfego total conversacional e streaming é dividido por 15 para obter o tráfego gerado por cada CN site, 1/10 daquele tráfego é interno ao site, e o remanescente 9/10 é igualmente entregue aos 14 sites, corresponde a entregar 9/140 do tráfego a qualquer um dos outros CN sites. Para tráfego de background, considera-se que metade é interno a cada site, e o remanescente é entregue igualmente aos outros 14 CN sites

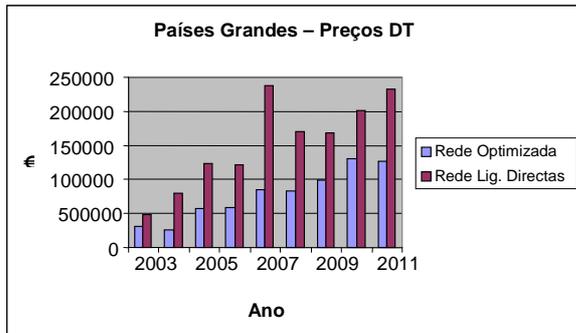


Fig. 5 - Diferenças entre os custos das redes optimizada e não-optimizada (Países Grandes usando os preços da Deutsche Telekom)

Neste caso, pode-se observar a enorme diferença entre a rede optimizada e a rede com ligações directas; o operador pode poupar 7,63 M€ por ano e em média obtém ganhos de 49,46% por ano.

### III. REDE DE ACESSO

O objectivo principal é optimizar a rede de Acesso, de modo ao tráfego gerado por cada NodeB poder ser direccionado para outros NodeBs e não através de uma ligação directa ao RNC central (prática habitual no GSM com as adaptações respectivas), de maneira a utilizar-se toda a largura de banda disponível das ligações.

De modo a respeitar os parâmetros do TONIC, importa construir uma topologia que apresente quatro zonas de utilizadores distintas (Densa Urbana, Urbana, Suburbana e Rural). Cada uma destas zonas, tem características de tráfego diferentes e distâncias médias dos seus NodeBs aos RNCs também diferentes.

Devido ao elevado número de NodeBs a considerar em cada ano (algumas centenas nos primeiros anos e alguns milhares nos últimos anos), é impossível implementar no PTPlan uma topologia com todos os elementos da rede de acesso. Optou-se por construir topologias em que só existisse um único RNC, e dispostos à sua volta o mais aleatoriamente possível, mas sempre respeitando as distâncias médias ao RNC, um número de NodeBs de cada zona proporcional ao seu número total no país.

O número de RNCs ao longo dos anos depende directamente do número de NodeBs. No máximo cada RNC, pode agregar fisicamente 100 NodeBs, este número diminui, se o tráfego gerado pelos NodeBs agregados ao RNC for superior à sua capacidade. Contudo, como não estamos a considerar todas as ligações NodeB-RNC como sendo directas, mas podendo ser encaminhadas por outras

ligações NodeB-NodeB, o número de RNCs deverá unicamente ser influenciado pelo tráfego total.

O passo seguinte corresponde a calcular o número de NodeBs de cada zona (Densa, Urbana,...) para cada um dos cenários. Começa-se por calcular as percentagens de NodeBs de cada zona no total de NodeBs de cada ano. Depois, aplica-se estas fracções aos valores da Tabela 1, para achar o número de NodeBs de cada zona por RNC; estes valores são então arredondados e adaptados de modo a garantir sempre valores inteiros

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
BSRNC (Países Pequenos)	110	159	230	253	223	227	204	213	240
NRNC (Países Grandes)	204	222	151	125	93	75	66	64	66

Tabela 1: Evolução do número de NodeBs por RNC, nos dois tipos de países durante os anos de estudo.

O país é dividido em quatro anéis circulares concêntricos ao RNC central, cada anel correspondendo a cada um dos diferentes tipos de zonas, e os NodeBs de cada zona são distribuídos pelo anel de modo a cobrir 360° e com raio aleatório dentro dos limites do anel.

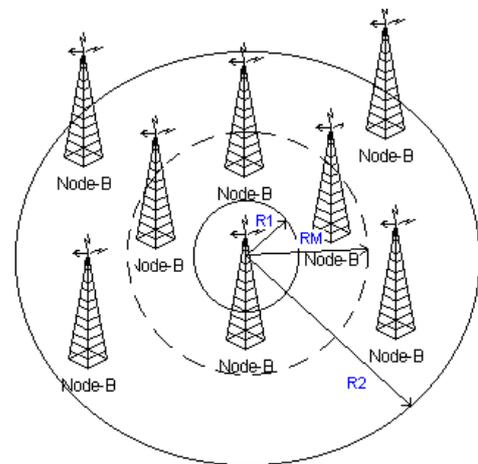


Fig. 6 - Divisão de uma zona em dois anéis.

R2 foi escolhida como o valor médio entre dois RM consecutivos (em que RM significa o valor médio da distância dos NodeBs de cada zona ao RNC – valores do TONIC). Neste modelo há dois “sub-anéis” da mesma zona que possuem áreas muito diferentes, terão de se colocar mais NodeBs nos “sub-anéis” de área mais pequena de modo a respeitar as distâncias médias do TONIC. Considerou-se também que R2 da zona Rural seria igual a 46 km de modo a obter-se uma relação 2:1 na mesma

O tráfego de cada nó vem dado pelo tráfego total da zona por RNC, a dividir pelo número de NodeBs da zona (nos cenários com apenas um RNC). Todo o tráfego flui em direcção ao RNC, considerando-se para valores de tráfego os da Busy-hour pois são os de pior caso

Se um NodeB tiver muitas ligações a chegarem ou partirem, isto significa que este NodeB comporta-se como “SuperNodeB” com capacidades similares a um RNC. Por esta razão, assumiu-se para ligações entre NodeBs, 10\*E1

ou  $1 \times E3$  como o máximo permitido (poder-se-ão originar também “SuperNodeBs”, mas isto não é muito provável pois o tráfego gerado por cada NodeB não é muito elevado).

A Fig. 7. representa um cenário construído com a ajuda de um programa em ‘C’ aplicado ao PTPlan MPLS, com todas as ligações possíveis consideradas, descartando somente as ligações entre NodeBs cuja distância entre eles fosse maior que a distância de cada um ao RNC, pois iriam conduzir imediatamente a custos maiores, já que o custo de cada ligação depende da distância.

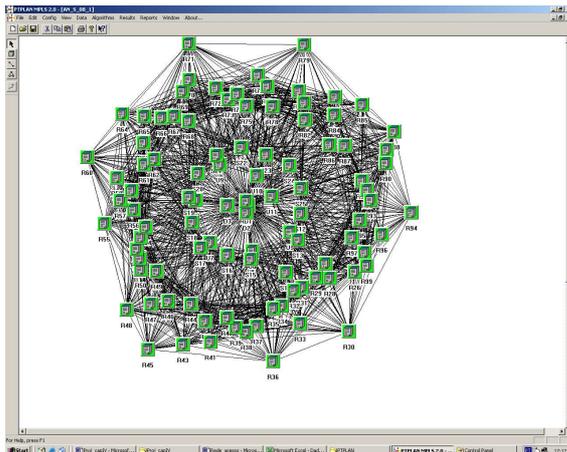


Fig. 7 - Exemplo de um cenário PTPlan com todas as ligações.

Depois de se ter corrido a heurística do PTPlan, obteve-se

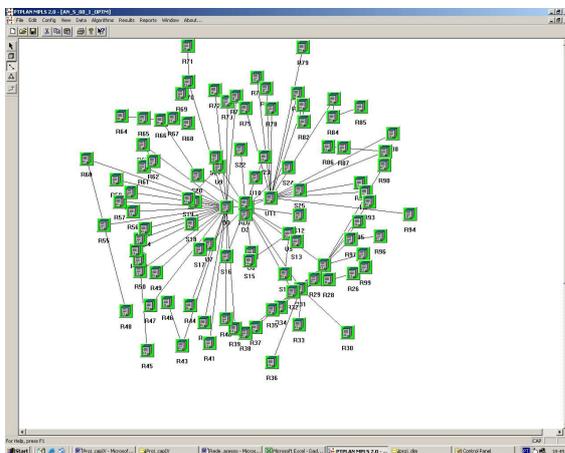


Fig. 8 - Exemplo de um cenário otimizado.

a topologia otimizada representada na Fig. 8.

Para razões de comparação, calculou-se também os custos das redes com topologias em estrela.

#### A. Países Pequenos

Devido à depreciação de 5% por ano no preço das linhas alugadas, e também porque o número de RNCs é o mesmo, o custo da rede em 2011 é menor que em 2010.

Nos primeiros anos, o custo da rede aumenta à medida que necessita de mais RNCs para suportar o tráfego UMTS. Com optimização consegue-se ganhos de de aproximadamente 26 Milhões de Euros durante os anos de estudo com médias de ganho por ano de 8% em Países Pequenos.

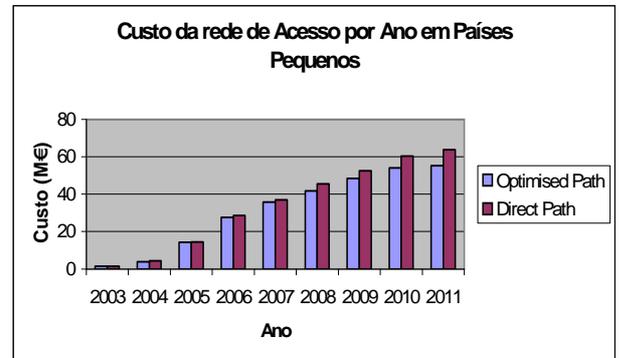


Fig. 9 - Diferenças entre os custos das redes otimizada e não-otimizada em Países Pequenos

#### B. Países Grandes

Com optimização consegue-se ganhos de aproximadamente 220 Milhões de Euros durante os anos de estudo com médias de ganho por ano de 12%.

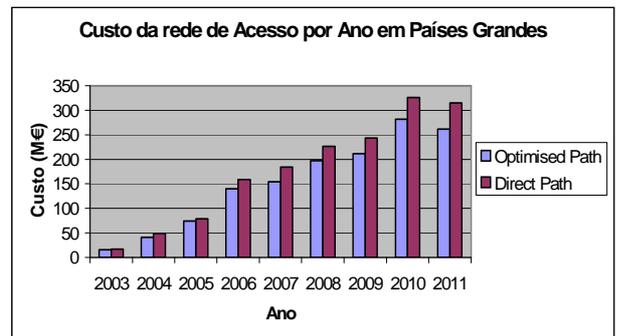


Fig. 9 - Diferenças entre os custos das redes otimizada e não-otimizada em Países Pequenos

### IV. WLAN em 3 PONTOS ESTRATÉGICOS de AVEIRO

Este estudo apresenta o dimensionamento de uma rede de acesso WLAN e o resultado tecno-económico. Consideraram-se três locais estratégicos, locais com grande densidade populacional, estes locais são de uma forma realista, possíveis cenários para a implementação de uma rede de acesso WLAN em 2004. A rede de acesso em estudo poderá pertencer a um operador móvel de terceira geração já implementado no mercado, ou então, pertencer a um novo operador que só é detentor da rede de acesso WLAN para assim fornecer serviços de banda larga.

### A. Arquitectura de uma Rede de Acesso WLAN

Uma rede wireless como já pudemos verificar anteriormente, é montada como as redes de telefonia móvel possuindo características idênticas, tendo na maioria das vezes uma rede principal (de cabo) ligada a um servidor principal e possuindo vários pontos de acesso. Esses pontos formam dependendo das suas características, redes sem fio que são capazes de atingir um raio de 50m a 75m de extensão e esta região delimitada de comunicação de dados é chamada de célula, que também se pode dividir e formar micro-células ou seja uma célula de comunicação dentro da outra. As redes WLANs que funcionam na banda dos 5Ghz vão começar a ser implementadas em zonas de grande densidade populacional os chamados hotspots, em que uma área aproximadamente (100 a 150 metros) é coberta por ponto de acesso (AP) que está ligado a um internet backbone por uma ligação física "high-speed". Os utilizadores na área de cobertura partilham a capacidade de um AP que é cerca de 20 Mbps. Este estudo explora uma arquitectura de rede baseada em "IP core network", sugerida pelo projecto BRAIN e denominada WLAN BRAIN[2].

### B. Cenários "Hotspot Zones"

#### UNIVERSIDADE DE AVEIRO

Descrição- Todo o campus universitário coberto por uma rede WLAN

Características da zona: Campus universitário de grandes dimensões, muitos edifícios, tem sensivelmente 10 000 utilizadores.

Mobilidade: Pouca mobilidade, algumas vezes, caminhando. Notar que muitos utilizadores podem mudar de localização simultaneamente (final de aula).

#### ESTÁDIO DE FUTEBOL

Descrição- Todo o estádio e zona envolvente (zona comercial, parques de estacionamento) coberta por uma rede WLAN).

Características da zona: Grande densidade populacional nas horas dos jogos.  
Mobilidade: Pouca mobilidade.

#### CENTRO COMERCIAL

Descrição- Toda a zona comercial, de lazer e estacionamentos cobertos por uma rede WLAN.

Características da zona: Grande densidade populacional .

Mobilidade: Pouca mobilidade.

### C. Dimensionamento da Rede

#### FUNÇÃO DO NÚMERO DE UTILIZADORES NA "BUSY-HOUR"

Calcula-se o número de pontos de acesso necessários para cada um dos cenários em função do número de utilizadores na "busy hour".

No cálculo do número de utilizadores na "busy hour" utiliza-se as taxas de penetração em serviços wireless provenientes do projecto TONIC.

Sabendo a taxa de utilizadores de serviços móveis no ano de 2004, calculamos para cada um dos cenários o número de clientes de serviços móveis, com base na seguinte tabela , proveniente do projecto TONIC.

Penetração/ano	2004
Clientes	80%

Tabela 2 -.Taxa de penetração.

Depois de se saber o número de clientes que utilizam serviços móveis calcula-se quantos podem utilizar serviços wireless, com base na tabela seguinte que mostra a divisão dos serviços móveis por várias tecnologias e a percentagem de clientes em cada tecnologia.

Tecnologia	2000	2002	2004	2010
2G	100%	84%	50%	0%
2.5G	0%	15%	30%	30%
3G	0%	1%	18.5 %	50%
WLAN	0%	0%	1.5 %	20%

Tabela 3: Percentagens de clientes em cada tecnologia ao longo dos anos.

Para se calcular o numero de utilizadores na busy hour assumiu-se que num cenário empresarial, Universidade de Aveiro, 30% dos clientes Wireless estão activos. No caso de um ambiente domestico, o centro comercial Fórum e o estádio de futebol, 20% dos clientes wireless estão activos.

#### Universidade de Aveiro

População =10 000

Nº de clientes de sistemas móveis = 8 000

Nº de clientes wireless = 120

Nº de utilizadores wireless na busy hour = 36

Nº de pontos de acesso necessários = 2

#### Estádio de Futebol

População =30 000

Nº de clientes de sistemas móveis = 24 000

Nº de clientes wireless = 360

Nº de utilizadores wireless na busy hour = 72

Nº de pontos de acesso necessários = 4

#### Centro Comercial Fórum:

População = 5 000

Nº de clientes de sistemas móveis = 4 000

Nº de clientes wireless = 60

Nº de utilizadores wireless na busy hour = 12

Nº de pontos de acesso necessários = 1

#### D. Análise Económica

Os parâmetros de avaliação de projectos constantes nas tabelas seguintes fornecem óptimos indicadores aos investidores sobre a viabilidade do projecto.

Projectos de investimento deste tipo são considerados positivos para taxas de rentabilidade Interna (TIR) acima dos 20%, o que é largamente superado nestes cenários.

O período de recuperação (número de anos do projecto com cash-balances negativos) do projecto situa-se nos 2/3, o que é realmente muito pouco.

VAL	211.255	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
TIR	133,8%								
Investimentos	21.107	0	4.832	0	13.451	5.241	12.698	0	
Custos de exploração	402	411	223	480	1.047	1.530	1.708	1.747	
Receitas	7.740	11.326	19.997	42.641	81.534	94.057	85.580	80.625	
Cash Flows	-13.769	10.915	14.942	42.151	67.036	87.287	71.174	78.878	
Amortizações	9.981	2.781	6.628	3.028	14.368	1.825	13.004	1.998	
Lucros	-2.643	8.134	13.146	39.123	66.129	90.703	70.867	76.920	
Impostos	0	275	657	1.956	3.336	4.535	3.543	3.846	
Cash Flows de exploração	-13.769	10.641	14.285	40.195	63.730	82.752	67.630	75.032	
Cash Balance	-13.769	-3.128	11.156	51.351	115.081	197.833	265.463	340.465	

Tabela 4: Resultados económicos totais (todos os valores em Euros) – Centro comercial Fórum.

VAL	427.124	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
TIR	116,4%								
Investimentos	52.411	0	0	0	13.451	37.072	0	0	
Custos de exploração	770	795	397	994	2.043	3.060	3.257	3.017	
Receitas	15.480	22.637	39.997	85.275	163.033	188.104	171.155	161.237	
Cash Flows	-37.702	21.841	39.590	84.341	147.589	147.973	167.888	158.230	
Amortizações	30.642	5.442	5.442	5.442	16.772	25.225	3.625	3.625	
Lucros	-15.933	16.399	34.148	78.899	144.248	159.820	164.263	154.606	
Impostos	0	23	1.707	3.945	7.212	7.991	8.213	7.730	
Cash Flows de exploração	-37.702	21.818	37.883	80.395	140.357	139.982	159.675	150.870	
Cash Balance	-37.702	-15.884	21.999	102.395	242.752	382.734	542.408	682.908	

Tabela 5: Resultados económicos totais (todos os valores em Euros) – Universidade de Aveiro

Os resultados mostram que em termos de TIR o cenário com melhores resultados é o centro comercial Fórum, pois este local é relativamente pequeno em termos de área mas tem uma densidade populacional elevada o que faz com que se obtenha uma taxa elevada de TIR.

O período de recuperação é maior no estádio municipal pois este só tem grande afluência de pessoas nas horas dos jogos .

Em termos, de conclusão podemos dizer que os dois grandes cenários para a implementação de redes de banda

larga sem fios (WLAN) na cidade de Aveiro são a Universidade e o centro comercial Fórum.

VAL	114.766	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
TIR	72,7%								
Investimentos	26.185	0	4.216	0	4.130	17.538	0	8.641	
Custos de exploração	410	401	136	314	653	1.012	1.039	1.055	
Receitas	4.851	7.038	12.504	26.669	50.963	58.787	53.432	50.339	
Cash Flows	-21.745	6.668	8.151	26.344	46.180	40.237	52.452	40.682	
Amortizações	13.877	3.077	6.800	3.200	6.906	12.377	1.577	6.052	
Lucros	-9.436	3.610	5.557	23.144	43.404	45.398	50.876	43.252	
Impostos	0	0	0	1.144	2.170	2.270	2.544	2.163	
Cash Flows de exploração	-21.745	6.668	8.151	25.200	44.010	37.967	49.909	38.519	
Cash Balance	-21.745	-15.057	-6.905	18.294	62.304	100.271	150.180	188.689	

Tabela 6: Resultados económicos totais (todos os valores em Euros) – Estádio municipal.

#### REFERÊNCIAS

- [1] Cardoso L., Patrao J., Lopes C., De Sousa A.F., Valadas R., "PTPlan MPLS: A Tool for MPLS Network Dimensioning", 9th Int. Symp. on Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunication Systems (MASCOTS'2001), Cincinnati, Ohio, USA, 15<sup>th</sup> – 18<sup>th</sup> August, 2001
- [2]-BRAIN Project, Broadband Radio Access for IP based Networks, [www.ist-brain.org](http://www.ist-brain.org).
- [3]- BRAIN project, BRAIN architecture specifications and Models, BRAIN functionality and Protocol Specification, Deliverable 2.2. March 2001.