

Rede Digital Comunitária: uma Rede sem Fios Metropolitana

José Carlos Rufino Amaro, Rui Pedro Lopes

(rufino@ipb.pt, rlopes@ipb.pt)

Instituto Politécnico de Bragança - ESTiG, 5301-857 Bragança, Portugal

Resumo

O recurso às Redes sem Fios na construção de redes privadas de telecomunicações está em expansão no nosso País, embora o seu amadurecimento técnico, legal e económico seja relativamente recente. Representando um compromisso bastante atractivo naquelas vertentes, esta tecnologia é apropriada à interligação metropolitana de instituições, requisito frequente em projectos ligados às Cidade Digitais. No caso de Bragança, o projecto Rede Digital Comunitária instalou uma Rede sem Fios, servindo aqueles propósitos, e que aqui se descreve.

1 Introdução

O projecto Rede Digital Comunitária (RDC) [1] enquadra-se na iniciativa Bragança Cidade Digital (BCD) [2], lançada pelo Ministério da Ciência e da Tecnologia, no âmbito do Programa Cidades Digitais [3].

A interligação, numa Intranet local, de todos os parceiros da iniciativa BCD, facultando-lhes, em simultâneo, acesso à Internet, foi desde cedo assumida como factor crítico de sucesso para a operacionalização e visibilidade dos projectos. A infra-estrutura de comunicações deveria ainda oferecer débitos elevados mas a custos adequados à dimensão financeira da iniciativa BCD. Estes constrangimentos constituíram a motivação essencial do projecto RDC.

Neste contexto, o projecto RDC instalou uma infra-estrutura de comunicações de abrangência metropolitana, interligando, nesta fase, oito entidades: Instituto Politécnico de Bragança (IPB), Câmara Municipal de Bragança (CMB), Núcleo de Empresas da Região de Bragança (NERBA), Instituto Português da Juventude (IPJ), Instituto do Emprego e Formação Profissional/Centro de Emprego (IEFP/CE) e as três escolas secundárias da cidade (Abade de Baçal – ESAB – , Emídio Garcia – ESEG – e Miguel Torga – ESMT –). Embora o número de entidades interligadas seja, nesta fase, limitado, a rede é “aberta” no sentido em que não será negada a possibilidade de acesso (sempre de carácter institucional) à comunidade e às forças vivas locais, empenhadas no desenvolvimento da Sociedade da Informação.

Neste artigo descreve-se a solução implementada, a qual consiste, basicamente, numa Rede sem Fios metropolitana, em que a porta de acesso à Internet é um circuito dedicado e partilhado. São expostas as motivações que conduziram à opção pela tecnologia *wireless*, alguns dos desafios encontrados e as principais opções de desenho e implementação. Por fim, apresentam-se alguns indicadores de desempenho.

2 Motivação

Os utilizadores da Rede Digital Comunitária são, essencialmente, instituições que necessitam de acesso permanente à Internet e para as quais é ainda conveniente a existência de uma infra-estrutura de comunicações local, de alto débito, que permita não só a troca de informação, como ainda a exploração de serviços mais avançados, como por exemplo a videoconferência. As necessidades de uma outra faixa (minoritária) de utilizadores passam por acessos intermitentes e de baixo débito, seja à Intranet da Cidade Digital, seja à Internet. Para estes últimos, o acesso via RDIS foi considerado suficiente, tendo-se providenciado a instalação de um acesso primário nas instalações do IPB, o qual funciona como ponto de entrada na Rede Digital Comunitária para aqueles utilizadores.

O projecto RDC enfrentou, inicialmente, algumas dificuldades na definição de uma solução de compromisso entre custo e largura de banda:

- o monopólio do mercado das telecomunicações era ainda detido por um único operador, o que impossibilitava o acesso aos benefícios económicos da livre concorrência;
- o factor interioridade não só determinava a ausência de soluções alternativas, como seria o caso do recurso à infra-estrutura de distribuição de televisão por cabo (ausente na cidade), como fazia prever dificuldades no recurso a outros operadores no cenário imediato pós-liberalização, dado que as zonas do interior, por razões demográficas, seriam as últimas a beneficiarem da sua presença; paralelamente, o único operador de telecomunicações à data não revelou interesse em fazer da cidade um campo de testes de novas soluções como por exemplo aquelas baseadas em xDSL;
- a legislação regulamentadora do estabelecimento de redes privadas de telecomunicações era inexistente, tendo sido publicada apenas alguns meses após o início do projecto (decreto-lei nº 290-C/99, de 30 de Julho [4]);
- soluções alternativas, como as Redes sem Fios, eram ainda pouco atractivas do ponto de vista económico e quando isso não acontecia, constatava-se que os débitos oferecidos não correspondiam aos pretendidos, tanto mais que já se perfilava para breve a disponibilidade de equipamentos baseados na norma IEEE 802.11b [5], cujo processo de standardização estava então em conclusão.

3 Algumas Abordagens Possíveis

No seguimento do problema apresentado foram ponderadas algumas soluções. Em termos de grandes blocos, o objectivo resume-se ao estabelecimento de uma rede metropolitana com uma porta para a Internet, através de uma ligação contratada a um operador comercial (ISP). Para o caso das Escolas Secundárias, o acesso à Internet deveria continuar a ser efectuado através da Rede Ciência, Tecnologia e Sociedade (RCTS), a qual dispõe de um PoP nas instalações do IPB.

3.1 Circuitos Dedicados

A possibilidade de recorrer ao aluguer de circuitos por forma a constituir a Intranet local foi equacionada logo no início do processo. Assim, cada parceiro seria ligado, através de um circuito dedicado, a um ponto central (IPB). A partir deste, estariam acessíveis uma

linha dedicada de acesso à Internet, alugada a um ISP, e uma outra, da RCTS, fornecendo acesso às Escolas Secundárias (Figura 1).

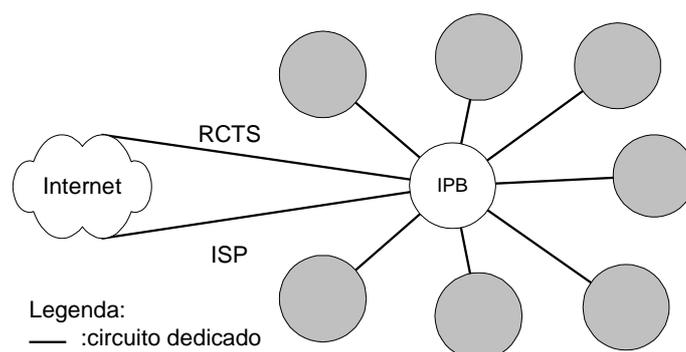


Figura 1 – Topologia simplificada da solução baseada exclusivamente em circuitos dedicados.

Este tipo de solução tem algumas vantagens:

1. elevados níveis de qualidade de serviço;
2. largura de banda a pedido;
3. independência da localização geográfica dos pontos a ligar;
4. gestão e manutenção da rede a cargo do operador comercial;
5. custo mensal previsível (fixo).

Todavia, uma solução baseada em circuitos dedicados de banda larga, capaz de permitir a transferência de qualquer tipo de informação entre as entidades, seria economicamente incomportável.

3.2 Redes sem Fios

O estudo desta alternativa desenvolveu-se a partir do instante em que o mercado passou a disponibilizar soluções compatíveis com os objectivos do projecto, quer em termos económicos, quer em termos tecnológicos. Assim, foram realizados alguns testes de campo com equipamentos de diversas marcas, suportando a norma IEEE 802.11 e a (então recente) norma IEEE 802.11b. Os testes revelaram-se plenamente satisfatórios e a opção para a concretização da Intranet recaiu sobre equipamento compatível com a norma IEEE 802.11b, assegurando maiores débitos e com custos adicionais pouco significativos.

Neste caso, a topologia (simplificada) para a Rede Digital Comunitária assenta em células onde se agregam todos os pontos de acesso (Figura 2).

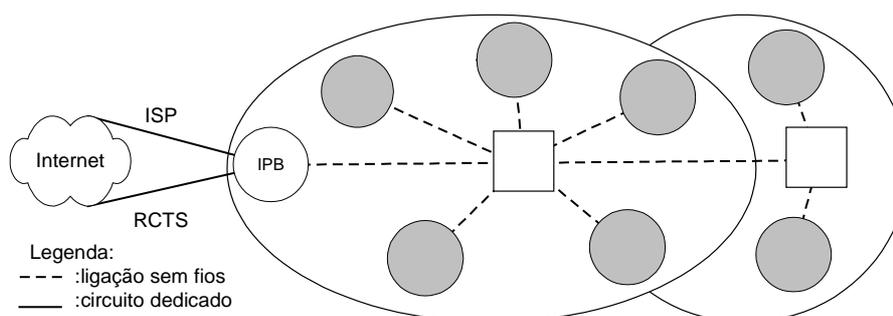


Figura 2 – Topologia simplificada da solução baseada em ligações sem fios.

A implementação da Intranet local com recurso a tecnologia de rádio-transmissão faz-se acompanhar de um conjunto de vantagens, designadamente:

- dispensa o recurso ao aluguer de circuitos dedicados a operadores comerciais, solução que colocaria em risco a continuidade do projecto para além do seu período de execução subsidiado; finalizado este período, os custos de comunicações resumem-se apenas aos do aluguer da ligação ao exterior a um ISP, sendo estes custos repartidos pelas instituições que utilizam a rede;
- o maior custo inicial do equipamento de rádio-transmissão é rapidamente amortizado pelos débitos oferecidos (até 11Mbps nominais, em função da distância) e pela ausência de taxação no interior da rede;
- operando numa zona do espectro de acesso livre (na banda dos 2,4 GHz), a Rede Digital Comunitária é uma rede privada que não carece de licenciamento por parte do ICP e pode operar de forma quase independente dos ISPs;
- dispensa a instalação física de cablagem na paisagem urbana, solução problemática em termos legais e pouco viável em termos financeiros; complementarmente, o impacto visual das antenas é mínimo devido às suas reduzidas dimensões (45,7 cm de altura/comprimento, c.f. a sua orientação);

Resumidamente, a opção por este tipo de tecnologia decorreu essencialmente da constatação de que a adopção exclusiva de soluções tradicionais, contratadas aos operadores comerciais, iria incorrer em encargos financeiros que, embora traduzindo-se em resultados mais imediatos, não seriam, por um lado, capazes de fornecer uma infra-estrutura sustentável economicamente, uma vez finalizado o projecto, e por outro, não proporcionariam os elevados débitos (sem custos exorbitantes) assim obtidos.

3.3 Outras Opções

Outra possibilidade equacionada, mas que depressa foi abandonada, por razões óbvias, foi a utilização da infra-estrutura (cablagem e/ou fibra óptica) de distribuição da televisão por cabo. Infelizmente, a cidade de Bragança dispõe deste serviço apenas na modalidade via satélite e não se perspectivava (tal como agora) a mudança desse cenário.

À semelhança do que acontece actualmente na montra das cidades digitais, ou seja, a cidade de Aveiro, foi também considerada a hipótese de o operador de telecomunicações (por sinal, parceiro “estratégico” do projecto), fornecer acessos xDSL. A resposta a essa solicitação foi a de que a tecnologia não estaria ainda “disponível”.

4 A Solução

A instalação da Rede sem Fios do projecto Rede Digital Comunitária enfrentou desafios de diversa ordem, alguns derivados de factores físicos, próprios dos locais de instalação, outros devidos a condicionalismos de ordem legal e burocrática.

No primeiro caso, foi necessária alguma precaução de forma a minimizar os riscos ligados à operação em telhados, sótãos e terraços. A inadequação da instalação eléctrica nesse locais (ou mesmo a sua ausência) assim como a necessidade de resguardar o equipamento (nomeadamente os encaminhadores) da exposição aos elementos foram também problemas a resolver.

No capítulo legal, foi necessário obter autorização para a instalação de antenas nos edifícios que suportam os centros das células (Torre do Loreto e edifício do Governo

Civil). Ainda neste capítulo, refira-se que a exequibilidade do projecto seria comprometida (possivelmente até inviabilizada) caso a promulgação da legislação de suporte (o referido decreto-lei nº 290-C/99, de 30 de Julho) fosse adiada.

O facto de o projecto ser levado a cabo no seio do IPB, se por um lado teve aspectos bastante positivos, nomeadamente em termos de suporte técnico e logístico, enfrentou esse velho inimigo da eficiência, a saber, a burocracia, sempre presente em qualquer processo de aquisição, seja de recursos humanos, seja de recursos materiais.

4.1 Topologia

Em termos de topologia, foram definidas duas células na cidade de Bragança, centradas no edifício da Torre do Loreto e no edifício do Governo Civil (Figura 3). Essa definição levou em conta a necessidade de linha de vista entre cada ponto de acesso e o centro da célula respectiva, assim como a minimização das distâncias por forma a comprometer o menos possível os débitos pretendidos. No desenho da topologia foi também prevista a ligação de mais parceiros num futuro próximo, pelo que as duas células instaladas são já suficientes para cobrir 2/3 da cidade. Note-se que a capacidade de cada célula (num máximo de 16 acessos remotos na configuração actual), está longe de ser explorada.

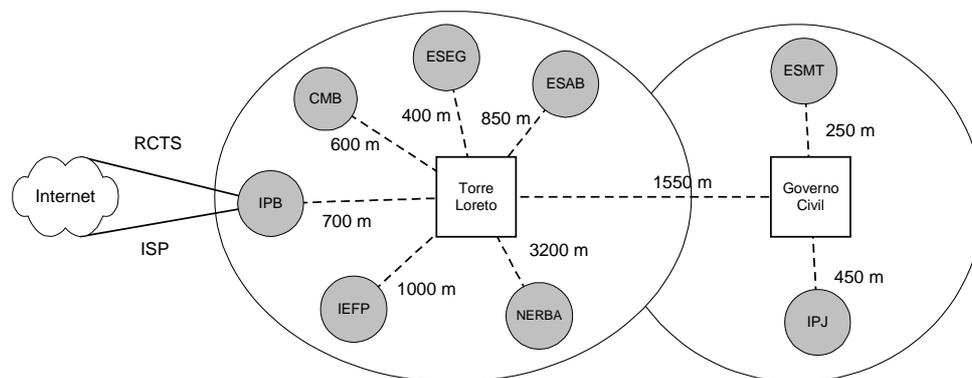


Figura 3 – Topologia à escala metropolitana.

As ligações estabelecidas entre cada ponto de acesso e o centro da sua célula, assim como as ligações entre as células, são do tipo ponto-multiponto, com uma antena direccional Yagi de 14 dBi, na origem, orientada para uma antena omnidireccional de 7dBi, no centro da célula de destino. A Tabela 1 apresenta o débito e o raio de cobertura máximos dessa configuração.

Débito	Alcance
1 Mbps	5,1 Km
2 Mbps	3,5 Km
5,5 Mbps	2,6 Km
11 Mbps	1,8 Km

Tabela 1 – Características máximas anunciadas pelo fabricante p/ uma configuração ponto-multiponto.

Assim, tendo em conta as distâncias expostas na Figura 3, todas ligações foram configuradas para operar a 11 Mbps, exceptuando a ligação NERBA – Torre do Loreto, que opera a 5 Mbps¹. Registe-se que para configurações ponto-a-ponto baseadas em duas

¹ Apesar da Tabela 1 sugerir a ligação a 2 Mbps, testes realizados confirmaram que a ligação a 5,5 Mbps não só se consegue estabelecer como apresenta uma qualidade aceitável, quase sem perdas de pacotes.

antenas unidireccionais, mutuamente orientadas, o alcance previsto é aproximadamente o dobro do obtido nas configurações ponto-multiponto, para o mesmo débito. Equivalentemente, para as mesmas distâncias, os débitos de uma configuração ponto-a-ponto são maiores. Todavia, o recurso exclusivo a ligações ponto-a-ponto teria custos adicionais importantes, que inviabilizaram, desde logo, a sua adopção.

A topologia implementada localmente em cada entidade segue o esquema da Figura 4.

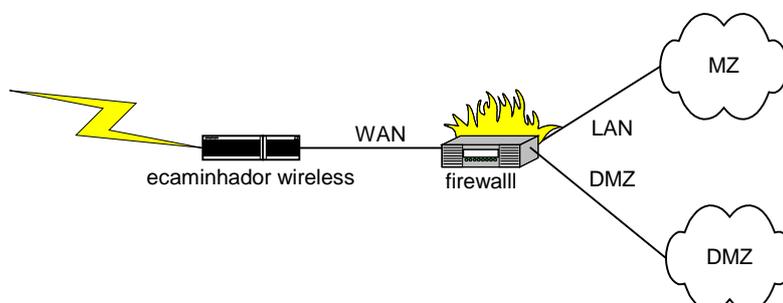


Figura 4 – Topologia local típica.

Assim, o encaminhador para a Rede sem Fios é ligado directamente à porta WAN de um equipamento de *firewall* em *hardware*. Este dispõe de duas outras portas: a porta DMZ (*DeMilitarized Zone*), à qual se ligam tipicamente servidores que disponibilizam serviços *internet* (www, mail, etc.) que, uma vez visíveis na Internet, necessitam de algum grau de protecção, e a porta LAN, à qual se liga a Intranet local. Nesta utilizam-se endereços privados [6], que a *firewall* traduz adequadamente no endereço público da sua porta WAN, recorrendo ao mecanismo NAT [7], sempre que se efectua um acesso ao exterior.

O acesso à Internet é feito por intermédio de circuitos dedicados instalados num dos parceiros, neste caso o IPB (Figura 5).

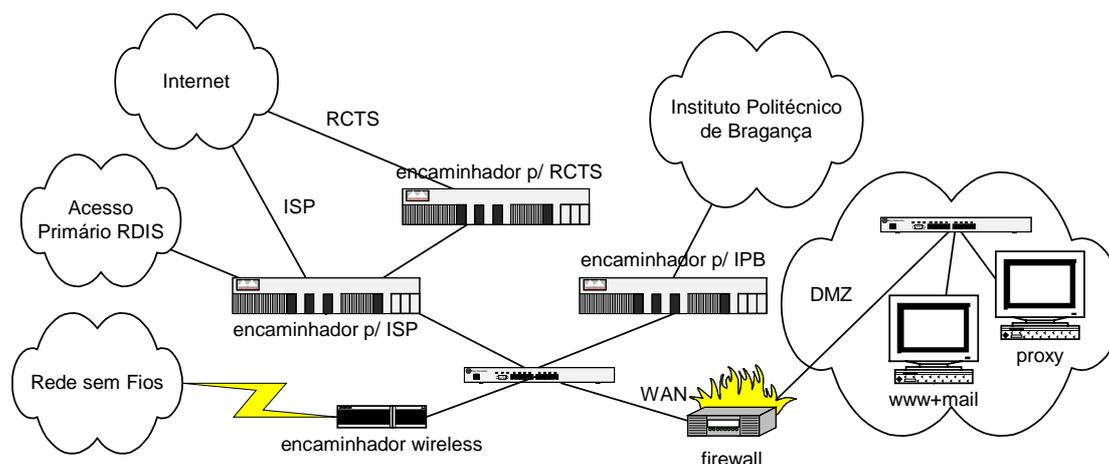


Figura 5 – Topologia no ponto de acesso à Internet (IPB).

As Escolas Secundárias utilizam a infra-estrutura da RCTS, ao passo que as restantes entidades recorrem aos serviços de circuito *frame-relay* de um ISP. É também no IPB que se encontra o acesso primário RDIS, utilizado pelas entidades que optaram por aquele tipo de solução, através da qual acedem quer à Intranet da Cidade Digital, quer à Internet.

4.2 Endereçamento

As entidades que usufruem da Rede sem Fios fazem dela uma utilização que não se limita ao simples acesso à Internet, procurando disponibilizar serviços e informação através dos servidores presentes na sua rede DMZ. Uma vez que a visibilidade desses servidores deve extravasar os limites da Intranet da Cidade Digital, é necessária a utilização de endereços públicos nessas máquinas. Nesse sentido, o projecto Rede Digital Comunitária recebeu, do RIPE, uma classe C de endereços IP. Dada a escassez presente de endereços IP, bem como as dificuldades crescentes na sua concessão, foi adoptada uma política restritiva de endereçamento, baseada em *subnetting* [8]. Assim, a classe C foi subdividida em dois grandes grupos: o primeiro, com 32 endereços, destinado ao acesso primário RDIS, e o segundo, subdividido em 28 grupos de 8 endereços, destinado-se cada grupo à utilização por cada entidade. Esta política deverá ser suficiente para acomodar a adesão de mais entidades a médio prazo. Dada a topologia utilizada nos pontos de acesso (rever Figura 4), então, dos 8 endereços atribuídos, apenas 4 ficarão disponíveis, uma vez que o endereço da sub-rede e o de difusão (*subnet broadcast*) estão automaticamente indisponíveis e é ainda necessário um para o encaminhador *wireless* e outro para a *firewall*.

No caso das escolas, foi aplicada a mesma política, embora sobre um gama de endereços públicos diferente, cedida pela FCCN para o efeito. Na prática, isto significa que na Intranet da Cidade Digital coexistem duas grandes redes IP, o que originou precisamente a necessidade de ter um cuidado especial na configuração dos encaminhadores *wireless* e, por fim, na separação ISP/RCTS no acesso à Internet.

Tal como já foi referido (rever secção 4.1 Topologia), as *intranets* (ou redes MZ) de cada entidade sujeitam-se à utilização de endereços privados, acedendo ao exterior através da *firewall* que efectua NAT.

A economia de endereços públicos aplicou-se também ao *backbone* da Rede sem Fios. Assim, os encaminhadores *centrais* utilizam exclusivamente endereços privados, que os tornam virtualmente “invisíveis” na Internet. Os encaminhadores *remotos* utilizam também endereços privados na sua porta *wireless*, ao passo que a porta *ethernet* consome um dos endereços válidos da sub-rede atribuída à entidade.

4.3 Desempenho

Raramente o desempenho de uma Rede sem Fios obtido no terreno corresponde aos valores anunciados pelo fabricante, tipicamente obtidos em condições ideais (11 Mbps nominais e 4,5 Mbps efectivos [9]). Neste contexto, importa reforçar a distinção entre o débito nominal do *link*, e o débito efectivo (*data throughput*), precisamente aquele que estamos interessados em avaliar e que é sempre menor que o débito nominal [10].

O desempenho (doravante entendido em efectivo) depende, essencialmente, dos seguintes factores:

- qualidade do sinal, traduzida pela razão sinal/ruído;
- interferências de outros equipamentos operando na mesma gama de frequências;
- velocidade dos sistemas intermédios e finais;
- tipo de transferência, unidireccional ou bidireccional.

Nos testes que se realizaram, consideraram-se como não controláveis os factores qualidade do sinal e interferências. Por outro lado, não foi possível, por razões de ordem prática, utilizar sistemas remotos (nos pontos de acesso testados) com características

uniformes (designadamente em hardware), o que significa que a velocidade dos sistemas teve alguma influência nos resultados. Ainda em relação a este factor, não foi activada a encriptação do tráfego pelos encaminhadores.

Restou assim a variação do tipo de transferência, ora unidireccional, ora bidireccional. Numa transferência unidireccional o cliente e o servidor operam em extremos opostos ao passo que numa transferência bidireccional existem pelo menos um cliente e um servidor em operação em ambos os extremos da ligação, ou seja, há pelo menos duas trocas de dados em simultâneo e em sentidos opostos. Este cenário coloca mais carga na rede, permitindo avaliar com mais rigor a sua capacidade (idealmente, este procedimento deveria ser aplicado, em simultâneo, a todos os pontos da rede).

Embora existam ferramentas de análise do desempenho com provas dadas (caso do netperf [11] e do netpipe [12]), optou-se, no caso presente, por uma metodologia mais simples, baseada na utilização do protocolo FTP, e adiando para uma situação de plena estabilidade da topologia a condução de testes mais aprofundados. Assim, os resultados obtidos devem ser entendidos como indicadores aproximados, até porque, como já foi referido, houve factores que não foi possível controlar nesta fase.

Seguindo a sugestão referida em [13], a utilização do FTP foi efectuada da seguinte forma: `ftp> get ficheiro_grande /dev/null` em que `ficheiro_grande` teve dimensões 1, 2, 4 e 8 Mbytes, e deveria residir na *cache* do sistema de origem, o que seria conseguido a partir da segunda transferência. Com o ficheiro na *cache*, o tempo de transferência a partir do disco não participa no tempo de transferência total devolvido pela aplicação `ftp`. A utilização de `/dev/null`, evitando a escrita em disco no destino, serve também esse propósito.

Para as transferências unidireccionais foram testados ambos os sentidos, tendo-se seleccionado o melhor tempo após 5 transferências e calculado o débito correspondente. Para as transferências bidireccionais, foram usados apenas dois sistemas, um em cada extremo, como cliente e servidor. Neste caso, procurou-se iniciar as transferências em “simultâneo” e dos tempos de transferência registaram-se os primeiros 5 pares. De seguida, para todos eles calcularam-se os débitos agregados (em Mbps) e escolheu-se o melhor valor. A fórmula $\frac{f + \min(T_x, T_y) \times f / \max(T_x, T_y)}{\min(T_x, T_y)} \times (8/1000000)$, em que f é o

tamanho do ficheiro transferido, em bytes, e T_x e T_y são os tempos de transferência, em segundos, serviu de base para o cálculo do débito. Esse cálculo leva em conta apenas o tempo em que se registou transferência simultânea, nos dois sentidos, dado que, tipicamente, uma das transferências termina antes da outra, e o que resta desta não deve entrar no cálculo do débito agregado. Registe-se que a fórmula parte do princípio de que as transferências têm início ao mesmo tempo, o que, em rigor, nunca acontece. Todavia, constatou-se que esse desvio temporal não é significativo quando comparado com o tempo adicional consumido pela transferência que termina em último lugar.

O primeiro conjunto de testes incidiu sobre o troço da rede unindo os extremos geograficamente mais afastados, o IPJ e o NERBA, à distância de $450+1550+3200=5200$ m (rever Figura 3). Recorde-se ainda que a ligação NERBA – Torre do Loreto está limitada a 5 Mbps. Assim, a ligação IPJ – NERBA constitui, presumivelmente, o pior caso possível em termos de transferência entre as duas células da Rede sem Fios. O Gráfico 1 apresenta os resultados obtidos.

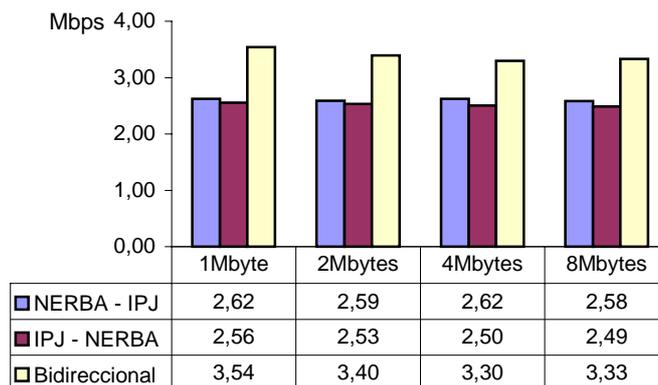


Gráfico 1- Desempenho da ligação NERBA – IPJ

A primeira conclusão a retirar é a de que mesmo o débito máximo obtido, de 3,54 Mbps, está longe dos 11 Mbps “prometidos”. Todavia, é um valor não muito distante dos 4,5 Mbps obtidos pelo fabricante, em condições controladas, para uma ligação ponto-a-ponto (mais rápida que uma ligação ponto-multiponto), baseada na última versão do *firmware* dos encaminhadores, a qual introduz um acréscimo de 20% no desempenho. Verifica-se ainda, como era de esperar, que o débito da transferência bidireccional é consistentemente superior (na casa dos 30%) ao das transferências unidireccionais.

Relativamente a estas, a influência do factor velocidade dos sistemas é visível, uma vez que um dos sentidos apresenta sempre melhores resultados que outro. O decréscimo aparente do débito em função da dimensão dos ficheiros deve-se, provavelmente, à reduzida memória central dos sistemas em comunicação que impede uma cache suficientemente grande para os acomodar na totalidade.

O segundo conjunto de testes incidiu apenas sobre uma célula, a fim de se verificar qual o efeito da partilha do canal (note-se que as duas células da Rede sem Fios e a sua interligação operam em 3 canais diferentes, o que favorece o desempenho da sua interligação). Foi testada a ligação IPB – NERBA, numa distância de 700+3200=3900 m, resumindo o Gráfico 2 os resultados obtidos.

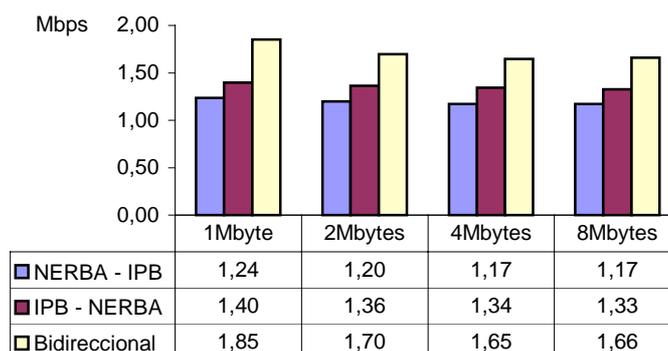


Gráfico 2 – Desempenho da ligação NERBA – IPB

Com entidades comunicantes partilhando a mesma célula, a natureza *half-duplex* do protocolo de radio-transmissão é bem evidenciada. Com efeito, em relação ao cenário anterior verifica-se uma redução dos débitos na ordem dos 50%. Acentuam-se também as diferenças derivadas do sentido particular da transferência unidireccional, o que parece sugerir que a velocidade dos sistemas é um factor mais influente neste cenário.

Por fim, a Tabela 2 apresenta os tempos médios devolvidos pela execução consecutiva de 10 pedidos de eco, pelo comando `ping`, úteis para avaliar latências.

origem → destino	tempo mínimo (ms)	tempo médio (ms)	tempo máximo (ms)
NERBA → IPJ	15,5	16,3	17,1
IPJ → NERBA	15,4	15,9	16,6
NERBA → IPB	12,1	12,8	15,4
IPB → NERBA	11,6	12,2	14,5

Tabela 2 – Resultados da execução do comando `ping`.

4.4 Evolução e Estado Actual

A Rede sem Fios do projecto Rede Digital Comunitária está em operação desde meados de Abril, altura em que foi concluída a instalação e configuração da espinha dorsal e dos pontos de acesso de cada entidade. Neste momento, têm acesso à Rede sem Fios todas as entidades cuja ligação estava prevista nesta fase da iniciativa BCD. O acesso à Internet foi instalado em meados Agosto, estando desde então em operação. A aquisição, instalação e configuração do equipamento de *firewall* está em curso, após o que se dará por concluída a execução técnica do projecto.

5 Conclusões

Ao longo deste artigo foram descritos alguns dos aspectos relativos à instalação e operação de uma rede sem fios metropolitana, desde o processo de planeamento e decisão, até a análise preliminar de desempenho.

A utilização da Rede Digital Comunitária, servindo as instituições participantes na iniciativa Bragança Cidade Digital, é, por natureza, eminentemente institucional, pelo que serão os serviços que as diversas entidades implementarem sobre a rede que se repercutirão na melhoria da qualidade de vida dos cidadãos. Instalada a infra-estrutura base de comunicações, cabe agora às entidades que dela usufruem a dinamização necessária explorando todas as possibilidades que ela oferece. Previsivelmente, serão as entidades que avançaram nesta 1ª fase aquelas com maiores responsabilidades na exploração de todo o potencial da rede.

O projecto Rede Digital Comunitária constituiu, para os seus responsáveis e técnicos, uma experiência de aprendizagem constante e um exercício típico de engenharia, onde se perseguiu o sempre desejado equilíbrio entre o custo e a eficiência. Nesse sentido, a opção pela Rede sem Fios foi uma aposta arrojada no contexto da iniciativa Bragança Cidade Digital e, de certa forma, pioneira no panorama nacional. Vencida que está, na nossa perspectiva, essa aposta, constata-se todavia que as promessas daquele tipo de solução, designadamente no que dizem respeito ao desempenho da rede, têm de ser encaradas com as devidas cautelas, sendo aconselhável a realização de testes de campo antes de uma opção séria por este tipo de tecnologia. Neste contexto, a futura norma IEEE 802.11a, prometendo débitos nominais na ordem dos 22 Mbps, deverá contribuir para uma disseminação ainda maior das tecnologias *wireless*, pese embora a incompatibilidade prevista com equipamentos de gerações anteriores (como a norma IEEE 802.11b, por exemplo), poder constitui um *handicap* importante.

6 Referências

- [1] Projecto Rede Digital Comunitária (<http://rdc.bcd.pt>).
- [2] Iniciativa Bragança Cidade Digital (<http://www.braganca-digital.pt>).
- [3] Programa Cidades Digitais (<http://www.mct.pt/CidadesDigitais>).
- [4] Decreto-Lei n.º 290-C/99 de 30 de Julho (http://www.icp.pt/legispt/dl290_99c.html).
- [5] IEEE, “802.11b-1999 Supplement to Information technology-Telecommunications and information exchange between systems-Local and metropolitan area networks-Specific requirements-Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: Higher Speed Physical Layer (PHY) Extension in the 2.4 GHz band”, 1999.
- [6] Rekhter, Moskowitz, Karrenberg & de Groot – “RFC 1597: Address Allocation for Private Internets”, Março, 1994.
- [7] Egevang & Francis – “RFC 1631: The IP Network Address Translator (NAT)”, Maio, 1994.
- [8] J. Mogul, J. Postel – “RFC 950: Internet Standard Subnetting Procedure”, Agosto, 1985.
- [9] ORiNOCO Sales Bulletin 031/A – “Throughput Performance of an OR-system”, 6/2000 (FTP://FTP.WAVELAN.COM/PUB/DOCS/ORINOCO/BULLETIN/SALES/SB_031.pdf).
- [10] Solectek White Paper – “Understanding the Characteristics and Data Throughput of a Wireless Ethernet Bridge” (<http://www.foneconsulting.com/wireless/joel.htm>).
- [11] The Public Netperf Homepage (<http://www.netperf.org/>).
- [12] Q. O. Snell, A. R. Mikler & J. L. Gustafson – “NetPIPE: A Network Protocol Independent Performance Evaluator”, Ames Laboratory/Scalable Computing Lab, Ames, Iowa, Abril, 1996 (<http://www.scl.ameslab.gov/netpipe/paper/full.html>).
- [13] Paul Gortmaker – “Linux Ethernet-Howto v2.7”, Maio, 1999 (<http://www.ibiblio.org/mdw/HOWTO/Ethernet-HOWTO.html>).