

José André Moura

Instituto Universitário de Lisboa (ISCTE-IUL)
Instituto de Telecomunicações Portugal
jose.moura@iscte.pt

Christopher Edwards

School of Computing and Communications Lancaster
University, United Kingdom
ce@comp.lancs.ac.uk

Gestão Eficiente do Acesso Móvel a uma Infra- Estrutura de Rede Heterogénea

RESUMO

Este artigo discute a gestão de uma infra-estrutura de rede formada por diversas tecnologias de acesso à rede Internet, as quais são administradas por vários operadores móveis. Assume-se que estas tecnologias oferecem uma cobertura sem-fios num local público que em certas horas do dia tem de suportar valores elevadíssimos de tráfego de dados. Podendo-se originar, desta forma, uma situação de congestão numa das tecnologias enquanto as restantes ficam com a sua capacidade de ligação sem ser cabalmente utilizada. Para tentar resolver este tipo de problemas, a presente contribuição propõe a utilização na infra-estrutura de rede de nós intermediários (i.e. *brokers*) baseados num sistema de reputação que controla todos os recursos disponíveis na rede heterogénea num modo de funcionamento híbrido, utilizando em simultâneo políticas de gestão centralizadas e métricas distribuídas de desempenho das diversas tecnologias de acesso. Com tudo isto, pretende-se forçar a colaboração entre os operadores móveis para que os utilizadores finais possam utilizar toda a capacidade de ligação disponível das redes de acesso sem-fios existentes, independentemente do operador móvel, assegurando-se assim que os terminais dos utilizadores possam disfrutar de uma Qualidade de Serviço na sua ligação que satisfaça plenamente as condições de conectividade anteriormente contratualizadas, mesmo em cenários limite de elevadíssimos valores de tráfego de dados a serem trocados com a rede. Desta forma, o presente trabalho tem como objectivo essencial o estudo analítico feito sobre uma infra-estrutura de acesso sem-fios que assegura a conectividade a um conjunto de utilizadores. Estes utilizadores são os que se encontram no interior de uma estação de comboios e que necessitam de uma ligação à Internet, a qual pode ser disponibilizada através de um dos dois possíveis operadores móveis. Neste estudo foi utilizada uma distribuição de tráfego de dados retirada da distribuição real diária de passageiros na estação de comboios que foi seleccionada para este efeito. Pretende-se com este estudo identificar de forma clara qual o impacto da gestão assegurada pelo *broker* na infra-estrutura heterogénea de acesso do tipo sem fios, existente na estação de comboios referida anteriormente, quer do ponto de vista dos operadores, quer do ponto de vista dos utilizadores finais.

Palavras Chave:

Acesso Heterogéneo, Congestão, Serviço Híbrido baseado num Broker, Políticas de Gestão, Métricas de Desempenho, Reputação.

INTRODUÇÃO

De acordo com um estudo recente da Cisco, o tráfego de dados móveis a nível mundial vai crescer de forma muito significativa nos próximos anos [1]. Esta evolução de tráfego móvel já manifestou os seus efeitos nocivos em diversas ocasiões. De facto, recentemente a infra-estrutura de rede de um operador móvel experimentou uma congestão muito elevada em Londres. Este problema surgiu na sequência de muitos dos seus clientes terem adquirido *smartphones* pela primeira vez e com o desejo natural de experimentar as novas funcionalidades disponíveis, terem feito num curto intervalo de tempo imensos *downloads* de vídeos a partir da Internet.

DE ACORDO COM UM ESTUDO RECENTE DA CISCO, O TRÁFEGO DE DADOS MÓVEIS A NÍVEL MUNDIAL VAI CRESCER DE FORMA MUITO SIGNIFICATIVA NOS PRÓXIMOS ANOS [1].

Durante esse tempo, devido à falta de capacidade na rede móvel para satisfazer todos esses pedidos, o serviço de voz desse operador ficou totalmente indisponível. O operador em questão resolveu temporariamente o problema, instalando Estações Base (Base Stations - BSs) adicionais e fazendo mudanças ao nível do *software* de gestão da sua infra-estrutura de rede. No entanto, nem sempre esta solução é realizável na prática. De facto, aspectos comerciais ou mesmo técnicos podem impedir o operador de atualizar a sua infra-estrutura de rede para evitar situações de congestionamento na sua rede. Em locais públicos, como estações de comboio, aeroportos ou centros comerciais, pode ser muito dispendioso melhorar a capacidade da rede, ou pode sequer nem estar disponível nenhum espectro de radiofrequência para operar novas Estações Base. Consequentemente, os autores do atual documento argumentam que uma estratégia alternativa e mais realista para evitar o congestionamento na rede móvel é estabelecer contratos de *roaming* entre os operadores móveis existentes num dado país, permitindo aos clientes de um determinado operador poderem utilizar os recursos de rede alternativos de outros

operadores móveis quando a rede do primeiro operador se encontra congestionada. Deste modo, os recursos de rede disponíveis a partir da agregação das diversas redes móveis numa única infra-estrutura de rede heterogénea, permitirá que os recursos desta possam ser utilizados de forma mais eficiente do que acontecia quando as redes operavam isoladamente e, assim, evitar os problemas decorrentes do aumento do tráfego de dados nas redes móveis, com um investimento bastante reduzido por parte dos operadores móveis.

A corrente contribuição vem no seguimento de trabalho anterior sobre como satisfazer o melhor possível os principais requisitos (aparentemente incompatíveis) dos operadores de rede e utilizadores [2] e, um estudo de uma solução completa para controlar uma infra-estrutura heterogénea de acesso sem fios em cenários de utilização com elevadíssimos valores de tráfego de dados [3][4]. O trabalho actual revisita os aspectos sempre muito relevantes da mobilidade e da Qualidade de Serviço (Quality of Service - QoS) [5], propondo uma solução de gestão entre as tecnologias de acesso local que apoia a mobilidade de cada terminal. Além disso, propõe um sistema baseado em reputação de sistemas de comunicação que garante um nível de QoS específico por fluxo de dados. O QoS de cada fluxo é controlado por um sistema intermediário (*broker*) que avalia o estado de cada tecnologia de acesso agregando, numa forma inovadora e dinâmica, o estado quer do meio de comunicações sem fios quer do *backhaul* de acesso à Internet. Além disso, o QoS de cada fluxo é inteiramente controlado por políticas de gestão centralizadas no serviço *broker* na camada de rede e um conjunto distribuído por toda a infra-estrutura de métricas de desempenho das diversas tecnologias.

As principais contribuições do trabalho atual são agora discutidas de seguida. Uma nova ferramenta de planeamento para fornecedores de serviço de acesso à rede que se destina a analisar o impacto a longo prazo de estratégias de implementação de uma infra-estrutura de rede heterogénea em termos do seu desempenho e do aspecto financeiro, quando é utilizado o *broker*. Usando a ferramenta anterior, mostra-se que o *broker* permite que os recursos da rede continuem a ser utilizados de forma muito eficiente, apesar da existência de situações muito severas de congestão e, também torna o mercado mais equitativo, recompensando em termos financeiros, o fornecedor de acesso à rede que investiu mais na atualização da sua rede.

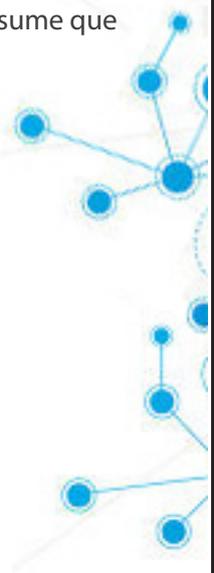
Agora é apresentada sucintamente a estrutura deste artigo. A secção 2 contextualiza na literatura o corrente trabalho, destacando os seus novos contributos. A secção 3 descreve o cenário de utilização e os requisitos funcionais do trabalho atual. A secção 4 discute a funcionalidade da proposta. A secção 5 analisa o impacto positivo a longo prazo da utilização do *broker* como um serviço distribuído para gerir uma infra-estrutura de rede heterogénea, usando dados reais sobre a utilização da rede numa estação de comboios. Finalmente, a secção 6 conclui a publicação atual e discute como prosseguir com este trabalho.

TRABALHO RELACIONADO

O presente trabalho gere eficazmente situações de congestão num ambiente de rede onde se tenta balancear elevados valores de tráfego de dados entre tecnologias distintas de acesso sem fios, usando todos os recursos de rede disponíveis. Pretende-se também garantir um nível satisfatório de qualidade de ligação a todos os fluxos móveis interligados através dessa infra-estrutura de rede heterogénea. Segundo [6], existem ainda alguns problemas por resolver de forma satisfatória na integração de diferentes tecnologias de acesso sem fios. Desta forma, a proposta actual baseada no *broker* oferece as seguintes novas funcionalidades (Tabela 1): admissão de novos fluxos de dados, seleção da rede de acesso, balanceamento e/ou offloading do tráfego de dados entre as redes de acesso, e a implementação de uma solução de baixa complexidade e flexível mas suficientemente poderosa para suportar a partilha de recursos de conexão entre as redes de acesso de operadores distintos. Para implementar todas estas novas funcionalidades, a proposta atual, para cada uma das tecnologias de acesso, mede o estado dos links de acesso sem fios, dos links de backhaul e calcula várias métricas de qualidade de serviço, incluindo a reputação de cada tecnologia de acesso. Todos estes cálculos são efectuados utilizando parâmetros definidos por políticas de gestão. Todas estas métricas depois de calculadas são disseminadas entre todos os terminais, utilizando campos opcionais dos cabeçalhos de mensagens de controlo já existentes em cada uma das tecnologias de acesso. Além disso, cada terminal suporta uma nova função de custo dinâmica para classificar todos os NAPs (Network Attachment Points) disponíveis num dado local. Esta função de custo é calculada através de várias métricas tais como, a qualidade do NAP, a relação sinal/ruído do sinal recebido do NAP e a reputação da tecnologia. Outras métricas podem ser facilmente incorporados no cálculo da função de custo como o montante monetário que cada utilizador tem de pagar para utilizar cada um dos NAP. Cada terminal pode

assim utilizar a sua lista de NAPs, bem como as políticas de gestão disponibilizadas pelo *broker*, para melhorar o desempenho de serviços fundamentais no acesso à rede, tais como, a admissão de novos fluxos e a escolha do NAP mais conveniente para cada um dos fluxos do terminal (ver Tabela 1).

O algoritmo de controlo distribuído gerido pelo *broker* é executado nos terminais porque assim se reduz a complexidade da gestão da rede, a sobrecarga da rede com tráfego de sinalização e a latência associada à mudança de rede e/ou NAP (handover) [7]. Além disso, uma parte muito substancial do trabalho prévio nesta área de investigação propôs que fossem os terminais a assumir as decisões sobre o handover [4][8], porque o poder computacional dos terminais tem estado a aumentar de forma muito significativa [9]. A solução atual suporta o balanceamento de tráfego de dados entre as diversas tecnologias de acesso sem fios [6], bem como o offloading de tráfego das redes dos operadores móveis para outras redes alternativas tais como *Wifi* ou femtocells. Desta forma, os handovers de fluxos não são apenas devido à mobilidade do terminal, mas também devido às variações de carga no NAP e/ou acesso de backhaul (Tabela 1). O backhaul é o link de dados que permite a comunicação entre a rede de acesso sem fios e a rede Internet. Além disso, a gestão da mobilidade é amplamente discutida em [10] e, outro trabalho recente [11] avalia analiticamente o atraso associado ao handover quando os protocolos de suporte de mobilidade são implementados em redes heterogéneas que suportam a norma IEEE 802.21 [12]. O atraso do handover não é relevante para o trabalho atual, porque este assume que os handovers são do tipo *make-before-break*.



NOVA FUNCIONALIDADE	IMPLEMENTAÇÃO DA NOVA FUNCIONALIDADE	PRINCIPAL OBJETIVO
ADMISSÃO DE NOVOS FLUXOS ENTRE REDES DE ACESSO HETEROGÊNEAS	POLÍTICAS DE GESTÃO QUE O SERVIÇO <i>BROKER</i> DISSEMINA PELOS TERMINAIS E QUE CONDICIONAM O FUNCIONAMENTO LOCAL DO AGENTE TERMINAL NA CAMADA DE REDE	PARA GARANTIR QUE CADA FLUXO DE DADOS POSSA USUFRUIR UM NÍVEL ADEQUADO DE QUALIDADE DE SERVIÇO ATRAVÉS DA INFRA-ESTRUTURA DE REDE HETEROGÊNEA. CASO CONTRÁRIO O FLUXO DE DADOS É BLOQUEADO
SELECÇÃO DA REDE DE ACESSO	AS MÉTRICAS RECEBIDAS DA REDE EM CONJUNTO COM AS POLÍTICAS DE GESTÃO DO <i>BROKER</i> PERMITEM QUE OS TERMINAIS POSSAM CRIAR DINAMICAMENTE UMA LISTA DE NAPs , ONDE O NAP MAIS CONVENIENTE PARA SER UTILIZADO POR CADA TERMINAL ESTÁ NO TOPO DA SUA LISTA	O TERMINAL QUE É ASSISTIDO PELA REDE UTILIZA UMA NOVA FUNÇÃO DE CUSTO PARA DINAMICAMENTE SELECIONAR O NAP MAIS CONVENIENTE, TENDO EM CONTA O ESTADO DA TECNOLOGIA DE ACESSO NAS SUAS VERTENTES SEM FIOS E <i>BACKHAUL</i> ; PRETENDE-SE REDUZIR A LATÊNCIA DO <i>HANDOVER</i> E O <i>OVERHEAD</i> NA REDE
BALANCEAMENTO E/OU <i>OFFLOADING</i> DE TRÁFEGO ENTRE AS REDES DE ACESSO	O <i>HANDOVER</i> DE UM FLUXO PODE SER INICIADO NUM DADO TERMINAL DEVIDO A VARIÇÕES SIGNIFICATIVAS DE CARGA NA PARTE SEM FIOS E/OU <i>BACKHAUL</i>	APESAR DE VALORES MUITO ELEVADOS DE CARGA, O SISTEMA UTILIZA EFICIENTEMENTE TODOS OS RECURSOS DE REDE DISPONÍVEIS ATRAVÉS DE TODAS AS TECNOLOGIAS E EM SIMULTÂNEO SATISFAZ OS REQUISITOS DOS DIVERSOS FLUXOS DE DADOS
IMPLEMENTA UMA SOLUÇÃO DE BAIXA COMPLEXIDADE E FLEXÍVEL	O SERVIÇO DE <i>BROKER</i> DO TIPO HÍBRIDO É IMPLEMENTADO ATRAVÉS DE ROTINAS DE SOFTWARE A SEREM EXECUTADAS EM NÓS ESTRATÉGICOS DA REDE E EM AGENTES TERMINAIS; TODAS ESTAS ROTINAS SÃO EXECUTADAS NA CAMADA DE REDE POR CIMA DA CAMADA INTERMÉDIA DESIGNADA POR MIH	O SISTEMA <i>BROKER</i> APLICA POLÍTICAS NUMA FORMA CENTRALIZADA MAS CONTROLA AS TECNOLOGIAS DE ACESSO NUMA FORMA COMPLETAMENTE DISTRIBUÍDA
PARTILHA DOS RECURSOS DE TODAS AS TECNOLOGIAS E SUA OFERTA AOS TERMINAIS	AMBAS AS FUNCIONALIDADES DE ADMISSÃO DE NOVOS FLUXOS E DE SELECÇÃO DA TECNOLOGIA DE ACESSO UTILIZAM A MÉTRICA DE REPUTAÇÃO ASSOCIADA A CADA TECNOLOGIA	OS OPERADORES MOVEIS SÃO FORÇADOS A COOPERAR ENTRE SI, PARTILHANDO OS RECURSOS DE REDE DISPONÍVEIS, PARA MANTER AS SUAS REPUTAÇÕES COM OS MAIORES VALORES POSSÍVEIS E PARA AUMENTAR OS SEUS LUCROS

TABELA 1 – SUMÁRIO DAS NOVAS FUNCIONALIDADES SUPORTADAS PELO SERVIÇO *BROKER* NUMA REDE DE ACESSO HETEROGÊNEA COM LIMITAÇÃO NOS RECURSOS DE REDE DISPONÍVEIS

A proposta actual está relacionada com algum trabalho prévio [13][14]. Contudo, a proposta actual possui diferenças significativas relativamente a [13], nomeadamente, nos aspectos em que ponto do sistema a decisão do *handover* é assumida e como é obtido o estado da rede. Adicionalmente a proposta actual diferencia-se de [14], porque a proposta actual disponibiliza um mecanismo distribuído de admissão de novos fluxos de dados, controlado por políticas de gestão de alto nível e por métricas dos níveis físico e MAC. Pretende-se assim suportar em cada terminal um nível de qualidade de serviço específico para cada um dos fluxos de dados, quando a capacidade disponível da rede é limitada e os terminais são móveis.

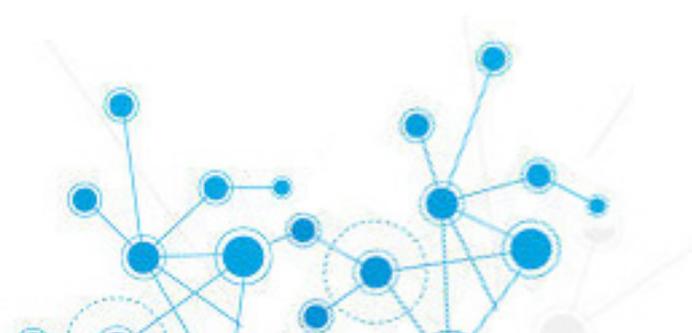
Algum trabalho prévio aplicou o conceito de reputação a diferentes tipos de redes [15][16][17][18]. A referência [15] propôs um sistema de créditos baseado na reputação para uma rede de distribuição de conteúdos (*Content Distribution Network* - CDN) do tipo P2P. O seu objectivo fundamental é de motivar pares inicialmente egoístas a colaborar com os outros pares. Este sistema possui a propriedade interessante de que quanto mais um par contribui para operações do tipo *upload* para o CDN, então maior a velocidade de *download* que esse par poderá posteriormente usufruir. O sistema também impede o cenário de eventual concertação entre pares para artificialmente aumentar a reputação de um grupo de pares. A reputação também foi proposta para redes do tipo Ad-Hoc para implementar o conceito de confiança (*trust*) [16]. Contudo, o nível de confiança de um nó pode ser manipulado por nós egoístas e inteligentes [19]. A aplicação de reputação a redes de sensores é uma área ainda por explorar, a qual é discutida em [17]. Neste contexto, a reputação de um nó pode ser útil para identificar nós egoístas ou malévolos e isolá-los da rede. Finalmente, a teoria de jogos pode ser utilizada para estudar de forma analítica como a reputação pode ser útil na seleção da rede de acesso mais conveniente em cenários de colaboração intensa entre os utilizadores e as redes [18].

O presente trabalho também usa reputação, mas num contexto diferente do trabalho anteriormente referido. De facto, propõe-se actualmente um sistema de reputação para agregar os recursos disponíveis das diversas tecnologias de acesso, quer na parte sem fios de cada tecnologia como na parte do *backhaul* dessa tecnologia, numa única infra-estrutura de acesso e torná-la acessível a terminais móveis com múltiplos interfaces de rede. Esta única infra-estrutura de rede disponibiliza todos os recursos das diversas tecnologias como estes pertencessem a uma única tecnologia de acesso. Agora é explicado como se pode implementar esta realidade. A solução atual usa um sistema de reputação [20] que oferece um acesso de rede sem fios a terminais com interfaces de rede múltiplos de forma distribuída com base no comportamento histórico de cada tecnologia de acesso [21]. Um bom comportamento passado de uma tecnologia resulta num valor de reputação mais elevado e, conseqüentemente, num escalonamento do número de terminais ligados a essa tecnologia. Inversamente, um mau comportamento resulta na redução do número de terminais ligados à mesma tecnologia. Desta forma, o comportamento passado de uma tecnologia tem um impacto direto sobre a reputação e, por conseguinte, no nível de *churn* associado a essa tecnologia/operador. Desta forma, relativamente a um dado operador, se o *churn* dos seus clientes aumentar então o lucro desse operador, a longo prazo, irá sofrer uma diminuição acentuada. Assim, os operadores são forçados a cooperar [22], aumentando a utilização dos recursos disponíveis na infra-estrutura partilhada, mantendo ou melhor ainda melhorando os seus lucros a longo prazo.

A UTILIZAÇÃO DE BROKERS PARA GERIR UMA INFRA-ESTRUTURA DE REDE TEM SIDO AMPLAMENTE INVESTIGADO [23].

Portanto, os recursos da rede são mais eficientemente geridos por políticas que permitem *handovers* verticais de fluxos ou uma maior diversidade no encaminhamento de fluxos de dados (ou seja, a criação de sub-fluxos) entre as tecnologias de acesso, de forma completamente transparente para os utilizadores.

A utilização de *brokers* para gerir uma infra-estrutura de rede tem sido amplamente investigado [23]. Como exemplo, os autores de [24] propuseram recentemente um sistema de publicação/subscrição entre agentes associados a terminais móveis e *brokers* fixos (ou móveis), ambos operando numa rede heterogénea sem fios para disponibilizar o serviço de descoberta de um serviço ou conteúdo. Inicialmente, cada agente pode descobrir um *broker* e depois proceder à sua inscrição nesse *broker*, publicando um conjunto de serviços ou conteúdos que de seguida, através desse *broker* de registo, podem ser subscritos por outros agentes. Finalmente, a implementação da nova proposta de um *broker* do tipo híbrido (ou seja, um sistema baseado em políticas de gestão centrais, mas com um algoritmo distribuído de gestão) que controla a alocação de recursos de rede a fluxos de dados foi exaustivamente analisado, utilizando cenários reais de utilização, conforme apresentado e discutido na secção 5 deste documento.



CENÁRIO DE UTILIZAÇÃO E SEUS REQUISITOS FUNCIONAIS

O presente artigo propõe um modelo de cooperação entre operadores móveis, coordenados através de um *broker* localizado na periferia da rede, para melhorar a qualidade do serviço de ligação oferecida a fluxos móveis de dados. O principal objetivo deste trabalho é suportar cenários com uma quantidade muito elevada de dados em ambos os meios de comunicação, no meio sem fios e no *link de backhaul*, de qualquer tecnologia de acesso à rede. A qualidade do serviço de ligação entra em linha de conta com o débito sem fios e o atraso no acesso de *backhaul*. De seguida, descrevem-se os seguintes aspectos: o cenário, os problemas abordados e os requisitos funcionais da solução que combate a congestão no acesso às redes móveis. A Figura 1 ilustra o cenário deste trabalho.

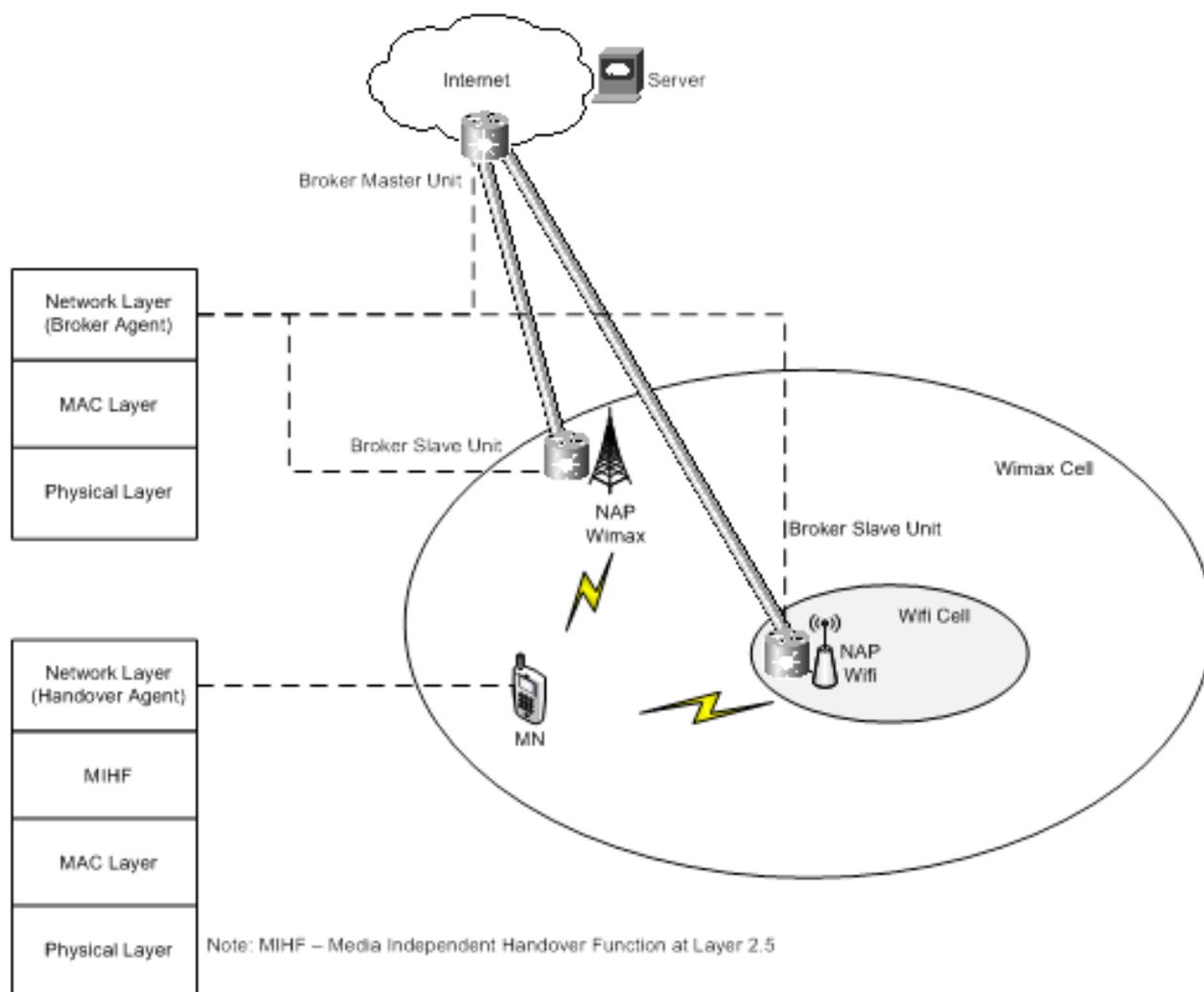


FIGURA 1 – IMPLEMENTAÇÃO DO SERVIÇO DE BROKER BASEADO NO IEEE 802.21

Na Figura 1 existe uma área de acesso público coberta por várias redes de acesso sem fios. Cada uma destas redes é administrada por um operador móvel distinto. O número de terminais móveis (ou nós), no interior da área de cobertura, com a necessidade de obter uma ligação sem fios, varia muito ao longo do dia. Assim, em determinados instantes do dia, os recursos de uma dada rede de acesso podem não ser suficientes para garantir uma boa qualidade de ligação a todos os fluxos de dados requerendo essa ligação, devido a uma cobertura deficiente por parte da tecnologia sem fios ou a uma capacidade insuficiente da rede. Consequentemente, a solução atual baseada num serviço *broker* tenta balancear a carga imposta pelo tráfego de dados por toda a capacidade disponível da infra-estrutura heterogénea de acesso, oferecendo um nível de serviço de ligação com uma qualidade conveniente aos vários fluxos de dados, através de *handovers* inteligentes devidamente controlados por políticas e métricas do *broker*.

No presente trabalho, alguns pressupostos foram assumidos. Em primeiro lugar, cada cliente obtém uma ligação à rede, pagando uma tarifa especificada no contrato que este cliente assinou anteriormente com o seu operador móvel. Adicionalmente, a utilização desta nova solução baseada no *broker* não implica nenhum custo adicional para os utilizadores móveis, porque existe um modelo de negócio entre os diversos operadores móveis para estimular a sua cooperação. Desta forma, um operador móvel sem recursos de rede suficientes para uma carga muito elevada imposta pelos seus clientes pode, com a ajuda do *broker*, desviar alguma dessa carga excessiva para as redes de outros operadores. No final, se todos os operadores partilharem a mesma quantidade de recursos de rede entre eles, chegando a um equilíbrio financeiro, não existirá nenhuma necessidade de efectuar um pagamento entre si. Em segundo lugar, o serviço de *broker* avalia a qualidade de cada opção de ligação formada por um NAP e o seu acesso de *backhaul*, a qualidade de cada tecnologia de acesso e a reputação do operador que possui essa infra-estrutura. Em terceiro lugar, o serviço de *broker* atualiza cada NAP com as respectivas métricas de qualidade. Em quarto lugar, o terminal (*Mobile Node – MN*) de cada cliente é atualizado com as métricas de qualidade de todas as opções disponíveis de interligação à rede, mesmo antes do terminal se interligar a qualquer uma dessas opções. O terminal pode então combinar as métricas de qualidade com a relação sinal/ruído do sinal recebido de cada NAP, para classificar cada um dos NAP e coloca-lo numa lista. Após isso, o MN pode escolher e solicitar uma ligação para o NAP mais adequado (o que estiver no topo da lista anterior). O algoritmo de gestão da infra-estrutura tenta assim adequar na melhor forma possível toda a carga de tráfego de dados a todos os recursos de rede disponibilizados por todas as tecnologias de acesso. Da mesma forma, o *broker* detecta ligações congestionadas (sem fios e/ou *backhaul*) e tenta resolver esses problemas, aplicando políticas adequadas de gestão em toda a infra-estrutura. Adicionalmente, o *broker* tem a capacidade de avaliar o sucesso/fracasso de cada política de gestão aplicada, classifica as políticas de acordo com o seu (in)sucesso, aprende quando e como um problema de rede foi resolvido e prevê quando o próximo problema de rede poderá eventualmente surgir.

O serviço de *broker* pode também ser aplicado a topologias de rede e modelos de negócios completamente distintos dos assumidos neste trabalho. Como exemplo, o *broker* também pode gerir uma rede celular de um operador móvel que decidiu vender femtocells aos seus clientes. A femtocell é uma pequena estação base que

cria uma *pico cell* dentro de uma *macro cell* já existente para melhorar a cobertura em determinadas zonas. Normalmente, cada femtocell está interligada à rede do operador móvel através de um túnel que utiliza uma interligação de banda larga de um cliente (cabo, DSL, fibra). Neste cenário, assumindo a existência de uma entidade *broker* em cada extremo do túnel, os fluxos distintos de um cliente (ou vizinhos) podem ser inteligentemente balanceados entre a macrocell e a pico cell, de acordo com a carga de cada célula e os requisitos dos fluxos, para garantir que os recursos disponíveis na rede são sempre utilizados o mais eficientemente possível. Neste cenário, a forma mais adequada de implementar este cenário constitui uma excelente proposta de trabalho futuro. Finalmente, é muito importante tentar também reduzir a potencial interferência que pode ocorrer em topologias densas de redes móveis, quando estas utilizam femtocells, para tentar otimizar, por exemplo, o desempenho do débito de *downlink*, como demonstrado em [25].

FUNCIONALIDADE DA NOVA PROPOSTA

Discute-se agora a funcionalidade do novo sistema de gestão para redes heterogéneas de acesso baseado no *broker*. Este sistema de gestão pode funcionar pelo menos em dois modos completamente distintos: passivo ou ativo. Em primeiro lugar, no modo passivo o serviço de *broker* não controla diretamente os recursos da rede. No entanto, continua a ter um papel muito relevante na gestão da infra-estrutura de rede na medida em que disponibiliza toda a informação de contexto necessária e suficiente a outras entidades da rede (e.g. NAPs ou terminais), para que estas últimas entidades possam gerir essa infra-estrutura. Assim, essas entidades muito mais próximas da periferia da rede, executando um algoritmo de baixa complexidade, pois só controla uma parte da rede, podem aplicar a política mais adequada de gestão diretamente na infra-estrutura muito mais rapidamente do que uma unidade do *broker* a funcionar na parte central da rede o poderia fazer, minimizando também a sobrecarga na rede originada pelo tráfego adicional de controlo. Em segundo lugar, um serviço de *broker* a funcionar no seu modo ativo, tem uma perspectiva global dos diferentes *links* de rede em termos do seu desempenho no passado, presente e futuro. Além disso, após um *broker* do tipo ativo ter detetado uma situação de congestionamento, devido a uma grande quantidade de tráfego de dados, o *broker* pode aplicar, de forma reativa, políticas de gestão para normalizar o funcionamento da rede e, depois, aprender com o resultado dessas acções corretivas. Esta aprendizagem do *broker* pode ser muito

útil na previsão de congestionamentos futuros em qualquer *link* da rede local, independentemente da sua tecnologia de acesso, pois pode permitir que o próprio *broker* consiga prevenir a ocorrência desses problemas. As principais desvantagens do modo de funcionamento ativo são o *jitter* (i.e. variação do atraso) existente no *loop* de controlo entre o *broker* e os dispositivos de rede a gerir, bem como a elevada complexidade do algoritmo de controlo imposta pela necessidade de controlar a infra-estrutura de rede na sua totalidade.

A funcionalidade do *broker*, independentemente de qual dos dois modos de funcionamento anteriormente discutidos está a ser efectivamente utilizado, é sempre completamente distribuída por vários nós, da mesma tecnologia de acesso ou não, tal como visualizado na Figura 1. Aqui, existem dois tipos de entidades *broker*: mestre ou escravo. Um *broker* do tipo mestre realiza as seguintes tarefas: recebe o estado das diversas tecnologias de acesso a partir dos *brokers* do tipo escravo aí existentes; avalia sobre a necessidade de intervir eventualmente na forma como uma tecnologia de acesso está a ser utilizada; sendo necessária a sua intervenção então, este nó mestre distribui pelos nós previamente escolhidos do tipo escravo um conjunto adequado de políticas de gestão para que os recursos de rede dessa tecnologia passem a ser utilizados mais eficientemente de acordo com a solicitação de carga imposta pelo tráfego de dados.

Cada unidade *broker* do tipo escravo está associada a uma única tecnologia de acesso e realiza várias operações que a seguir são explicadas. Em primeiro lugar, uma unidade do tipo escravo avalia o estado do *link* de acesso *backhaul* dessa tecnologia. Assim, é medido o *Round Trip Time* (RTT) do *backhaul* para avaliar a sua carga através da troca de mensagens periódicas ICMP com um servidor de Internet previamente seleccionado. Este método é usado porque o RTT pode ser um excelente indicador do desempenho disfrutado por diversos fluxos de dados que partilham o mesmo *link* de *backhaul* [26]. Desta forma, o valor médio do RTT do *link* de *backhaul* quando este não está congestionado pode ser calculado e utilizado como um limiar de decisão para avaliar em que estado se encontra este *link* (i.e. normal ou congestionado). Assim, quando o RTT medido está abaixo do limiar de decisão anterior, o parâmetro de qualidade associado ao *backhaul* tem o valor de um. Alternativamente, a unidade de *broker* do tipo escravo actualiza a qualidade de *backhaul*, como visualizado em (1), onde RTT_{max} (i.e. o valor máximo esperado para RTT) e K são parâmetros de escala para assegurar que a qualidade do *backhaul* está sempre dentro da gama de valores [0, 1].

$$Q_{back} = \frac{RTT_{max} - RTT_{sample}}{K}$$

Em segundo lugar, a unidade de *broker* do tipo escravo, de seguida, combina a qualidade média do *link* de *backhaul* (calculada a partir dos vários valores amostrados desta qualidade e calculados como já explicado conforme (1)) com a qualidade da ligação sem fios recebida de cada NAP (2), e nesta forma obtém a qualidade associada a cada NAP, como evidenciado em (3), em que W_1 e W_2 são fatores de ponderação. Estes fatores refletem a maior ou menor importância dos dois tipos de *links* (i.e. sem fios e *backhaul*), associados a cada ligação, que poderão ser utilizados por um fluxo de dados, no cálculo da qualidade associada a cada NAP. Os valores destes fatores constituem efectivamente políticas de gestão que podem ser utilizadas em cenários específicos de utilização da infra-estrutura de rede. Assim, no caso de um *link* de *backhaul* poder ficar congestionado com uma elevadíssima probabilidade então, os dois fatores de ponderação já mencionados devem ter um valor comum de 0.5 para que o *broker* processe de forma justa uma congestão (i.e. com a mesma sensibilidade relativamente a este problema) quer no *backhaul*, quer no *link* sem fios. Alternativamente, caso o problema de congestionamento possa ocorrer com maior probabilidade no *link* sem fios então, o fator W_1 deve assumir um valor superior ao assumido pelo fator W_2 . Desta forma, o *broker* fica mais sensível a um congestão ocorrida no *link* sem fios do que no *link* de *backhaul*. Como conclusão, (3) evidencia uma metodologia de gestão inovadora e fulcral proposta no trabalho atual, pois descreve matematicamente o significado do novo conceito de “qualidade” exhaustivamente mencionado ao longo deste artigo. Deste modo, a qualidade de um dado NAP pode ser calculada de forma simples, diferenciada e adequada por políticas de gestão previamente especificadas pelo operador móvel responsável por esse equipamento/infra-estrutura.

$$WQ_{NAP} = \frac{1}{n} * \sum_{j=1}^n (1 - n_flow_{sample} * K_1)$$

$$Q_{NAP} = w_1 * WQ_{NAP} + w_2 * \overline{Q_{back}}$$



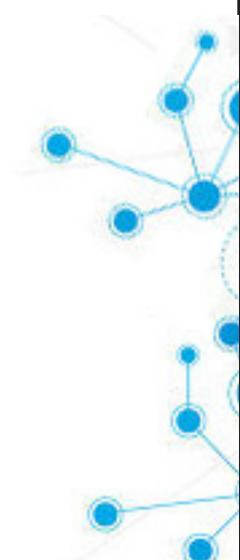
Em terceiro lugar, a unidade de *broker* do tipo escravo avalia o valor médio da qualidade da tecnologia (4). Em quarto lugar, é calculado o parâmetro de reputação associado ao operador móvel. Este parâmetro é a média de todos os valores amostrados da qualidade de tecnologia obtidos durante um certo intervalo de tempo (5). Assume-se que o objetivo principal de cada operador é manter sempre a sua reputação a longo prazo com o maior valor possível (i.e. o mais próximo possível de 1). Assim, um valor elevado para a reputação de um operador significa que o serviço de ligação oferecido por este aos seus clientes esteve quase sempre a um nível de qualidade muito satisfatório, provavelmente pelo facto da tecnologia de acesso utilizada pela sua infra-estrutura de rede ter sido gerida de forma muito eficiente em termos do seu desempenho, tendo em conta os recursos disponíveis de conectividade para a carga de tráfego de dados. Consequentemente, o serviço de *broker* recompensa automaticamente os NAPs desta tecnologia de acesso porque estes NAPs são apresentados a novos clientes que pretendem estabelecer uma ligação à Internet como opções que podem providenciar o serviço pretendido com uma qualidade mais elevada do que outros NAPs classificados com uma reputação mais baixa. Finalmente, a difusão de mensagens de gestão entre as diversas unidades que implementam o serviço de *broker* e entre cada unidade de *broker* e os seus NAPs, pode ser feita em todos esses casos via MIH [12] ou ICMP, através de uma metodologia de comunicação periódica ou por eventos.

$$Q_{techno} = \frac{1}{m} * \sum_{j=1}^m Q_{NAP} \quad (4)$$

$$Reputation_{prov} = \frac{1}{p} * \sum_{j=1}^p Q_{techno_sample} \quad (5)$$

O papel de cada NAP na solução aqui proposta é discutido de seguida. O NAP avalia a qualidade da ligação sem fios como o valor médio de todas as n amostras dessa mesma qualidade durante um certo intervalo de tempo, como já mostrado em (2). O parâmetro K_j é um parâmetro de escalonamento com um valor diferente para cada tecnologia e n_{flow_sample} é o número de fluxos que estão a utilizar esse NAP. Por fim, cada NAP divulga periodicamente através do *link* sem fios todas as métricas de qualidade para os terminais dentro da sua área de cobertura rádio.

A funcionalidade do agente que implementa o serviço de *broker* em cada terminal é agora explicada. Após cada atualização de parâmetros recebida de um dado NAP através de novos campos do cabeçalho de uma mensagem periódica de gestão da tecnologia de acesso, o agente terminal volta a recalculer uma lista de NAPs, onde o NAP mais bem classificado está sempre no topo dessa lista, sendo normalmente esse o escolhido pelo terminal para fornecer aos fluxos de dados desse terminal um serviço de ligação à Internet. O algoritmo que permite classificar os NAPs está descrito através da expressão matemática visualizada em (6). Esta expressão combina parâmetros do nível físico do modelo *Open Systems Interconnection* (OSI) (i.e. *Received Signal Strength* - RSS ou *Signal to Noise Ratio* - SNR) e de níveis superiores OSI, de acordo com o fator de ponderação α definido por políticas de gestão. Nesta expressão, chama-se a particular atenção para a utilização do parâmetro de reputação. Consequentemente, entre dois NAPs de diferentes tecnologias, mas com valores idênticos de sinal e de qualidade no serviço de ligação, a expressão (6) atribui uma posição mais elevada no *ranking* dos NAPs ao NAP associado à tecnologia com um valor de reputação mais elevado, pois esta tecnologia dá mais garantias (tendo em conta o seu desempenho anterior) de que pode garantir um serviço de ligação com uma qualidade superior à providenciada pelas outras alternativas. Esta funcionalidade é muito importante porque suporta um sistema baseado na reputação, dando incentivos aos operadores para manter a sua reputação em valores tão elevados quanto possível, apesar da eventual ocorrência de situações de congestão, e ao fazê-lo, dessa forma, tentar aumentar a cooperação entre os operadores para que todos os recursos disponíveis na infra-estrutura de rede possam ser utilizados o mais eficientemente possível.



$$P_{NAP} = Reputation_{prov} * (\alpha * \frac{power - Pow_{Thr}}{Pow_{Thr}} + (1-\alpha) * \frac{Q_{NAP} - Qual_{Thr}}{Qual_{Thr}})$$

(6)

ESTUDO ANALÍTICO

Nesta parte do trabalho tenta-se responder à seguinte questão: qual seria o impacto a longo prazo decorrente da utilização de um serviço de *broker* na gestão de uma infra-estrutura heterogénea de acesso à rede, quando são utilizados dados reais sobre a utilização dessa infra-estrutura?

A fim de responder à última pergunta, foi desenvolvido um modelo analítico no contexto de uma topologia de acesso de rede sem fios. Foi também utilizado um cenário real de utilização relacionado com uma infra-estrutura heterogénea de rede sem fios que oferece uma cobertura rádio na estação de comboios de Euston (Londres, UK). Assume-se que esta estação é coberta por duas tecnologias distintas, *Wi-Fi* e *Wimax*, em que cada uma destas tecnologias é administrada por um operador distinto.

No cenário atual, há também dois modelos de negócios. O primeiro modelo existe entre cada operador e os seus clientes. Assumiu-se que cada cliente paga uma tarifa fixa ao seu operador por cada hora de ligação, independentemente da tecnologia de acesso utilizada por essa ligação. O segundo modelo de negócio existe entre os operadores. Quando a rede de um operador tem poucos recursos de rede para atender todos os pedidos de ligação, então o primeiro operador deve pagar uma tarifa fixa por cada hora de ligação relacionada com cada cliente seu que seja movido com sucesso para outra rede menos sobrecarregada. Caso contrário, o cliente é bloqueado e este bloqueio é considerado no modelo atual como um custo financeiro (i.e. custo *churn*) para o operador que tem uma relação contratual com esse cliente, pois um cliente insatisfeito normalmente escolhe um outro operador. Supõe-se também que cada operador tem uma quota de mercado de 50%. O modelo analítico incorporou dados reais sobre o interesse no estabelecimento de uma ligação Internet de passageiros na estação ferroviária de Euston ao longo de um dia útil e de fim de semana (Figura 2) e, alguns valores típicos/máximos sobre quantos terminais em simultâneo se podem interligar a cada AP/BS (Tabela 2). Este modelo pode ser uma ferramenta de planeamento muito útil

para operadores com o intuito de antecipar qual seria o impacto a longo prazo da utilização de um serviço de *broker* tanto no desempenho das suas redes como nos seus lucros financeiros.

As tabelas 3 e 4 apresentam as características do cenário que está atualmente a ser estudado. Na Tabela 3, há duas estratégias distintas de implementação para o operador A. Na estratégia 1, a rede do operador A é composta por 3 pontos de acesso (APs) *Wifi*. Na estratégia 2, a rede do operador A é composta por 5 APs. Alternativamente, o operador B tem uma topologia de rede invariante constituída por uma única estação base (BS) *Wimax*, com uma cobertura mais ampla do que a do *Wifi*. O parâmetro p_a é o montante monetário pago por um cliente ao operador A (pois este operador possui uma relação contratual com esse cliente) correspondente a um intervalo de tempo fixo, durante o qual esse cliente esteve ligado através de qualquer rede de acesso disponível (i.e. rede A ou rede B). A explicação anterior também se aplica a p_b mas agora o pagamento é feito ao operador B. O parâmetro p_h é o pagamento efetuado directamente entre os operadores e é correspondente a um intervalo de tempo fixo de ligação, no caso de um fluxo de dados ter sido trocado da tecnologia de acesso, contratualizada pelo cliente associado a esse fluxo, para a outra tecnologia de acesso alternativa. Este pagamento funciona como um incentivo para um operador aceitar clientes de outros operadores. A Tabela 4 mostra que as duas tecnologias do estudo analítico actual têm custos distintos relacionados com a manutenção/operação das suas infra-estruturas de rede. Aqui também é evidente que quando um fluxo/cliente é bloqueado porque nenhum NAP está disponível com uma qualidade de ligação superior ao seu limiar mínimo, esta situação afecta negativamente o lucro financeiro do operador que possui uma relação contratual com esse cliente devido ao efeito a médio/longo prazo do *churn*.

Para o modelo anterior foram estudados os cenários de utilização 1 e 2. No cenário 1 o serviço de *broker* encontra-se desativado. Os resultados deste cenário estão disponíveis nas Figuras 3 e 4. A Figura 4 ilustra claramente a degradação genérica da qualidade do serviço na ligação, essencialmente durante as horas de maior procura desse serviço. No entanto, esta degradação é ligeiramente compensada se o operador A escolher a estratégia 2 que lhe permite ter uma rede com maior capacidade, em termos do serviço de ligação. Além disso, a Figura 3 mostra que, se o serviço de *broker* está desactivado então o operador B torna-se dominante neste mercado pois auferir um lucro maior do que o operador A. Este resultado é muito injusto porque o operador B não fez qualquer investimento na modernização da sua infra-estrutura de rede e até oferece uma má qualidade de serviço aos seus clientes. De referir que os lucros representados na Figura 3 não incluem o custo de médio/longo prazo associado a um eventual *churn* de clientes insatisfeitos com o seu operador de subscrição inicial.

No cenário de utilização 2 o serviço de *broker* encontra-se ativo. Os resultados deste cenário estão evidenciados nas Figuras 5 e 6. Analisando a Figura 5, pode-se concluir que o operador A, ao contrário do cenário de utilização anterior, fica com uma posição dominante no mercado se escolher a estratégia 2. Quando os resultados de ambos os cenários de utilização deste estudo são comparados, pode-se concluir que a utilização efetiva do serviço de *broker* evidencia vantagens bastantes significativas:

- é introduzida maior justiça no mercado, pois o investimento efectuado pelo operador A na melhoria da sua infra-estrutura é cabalmente protegido e o operador B que não apostou em melhorar a sua infra-estrutura acaba por ser penalizado;
- possibilita a melhoria na qualidade do serviço de ligação oferecido por todas as tecnologias de acesso, mesmo nos instantes do dia com maior procura.

Como conclusão, os resultados deste estudo sugerem que a implementação de um serviço de *broker* pode ajudar um operador a planear a longo prazo com maior precisão a configuração necessária para a sua rede, incluindo a do *backhaul* de acesso à Internet. O *broker* melhora também o desempenho do acesso móvel à rede de acesso sem fios heterogénea, assumindo que todos os operadores cooperam entre si para manter a reputação de cada um deles com o maior valor possível. Estes valores elevados de reputação trazem para todos os operadores vantagens significativas no futuro, pois, dessa forma, mais clientes podem ser atraídos para assinar novos contratos e assim rentabilizar o esforço feito pelos operadores em melhorar a capacidade da sua rede.



**ESPECIALIZAÇÃO / PÓS-GRADUAÇÃO EM
VIRTUALIZAÇÃO E CLOUD COMPUTING**

<http://pos-graduacoes.pt/>

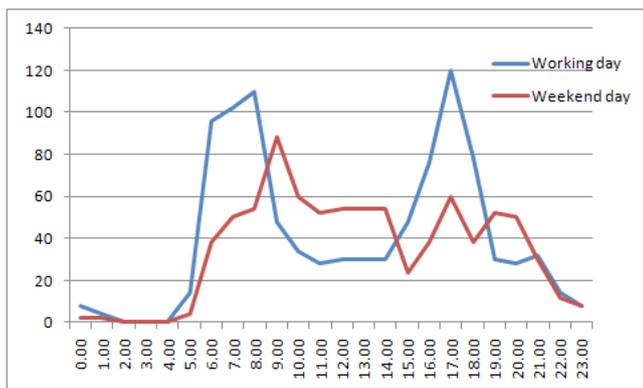


FIGURA 2 – NÚMERO TOTAL DE PASSAGEIROS QUE SOLICITARAM UMA LIGAÇÃO À INTERNET NA ESTAÇÃO DE COMBOIOS DE EUSTON (UK) DURANTE UM DIA TÍPICO DA SEMANA DE TRABALHO E DE FIM-DE-SEMANA

TABELA 2 – CAPACIDADE DOS NAP

NAP	Típica (clientes)	Máxima (clientes)
Wifi AP	8	11
Wimax BS	24	33

TABELA 3 – ESTRATÉGIAS DOS OPERADORES

ESTRATÉGIA	p_a	AP	p_b	BS	p_h
1	0.45 u	3	0.90 u	1	0.68 u
2	0.70 u	5	0.90 u	1	0.68 u

TABELA 4 – CUSTOS ASSOCIADOS A CADA TECNOLOGIA DE ACESSO

Custo (u - unidade monetária)	Wifi	Wimax
1 Mbps de débito durante 1 ano	600	1200
Bloquear um fluxo/cliente	1.35	1.35

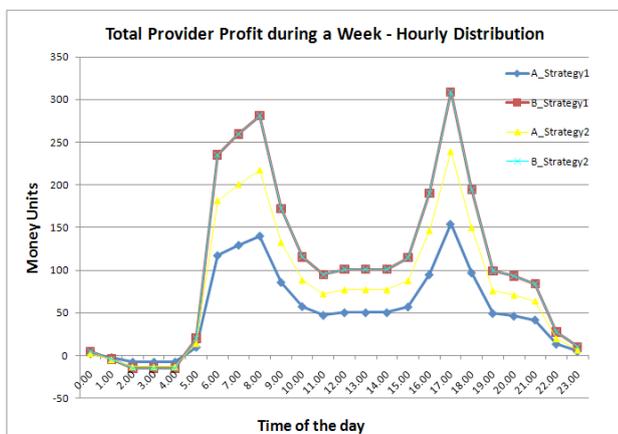


FIGURA 3 - LÚCRO SEMANAL DOS OPERADORES PARA DIFERENTES ESTRATÉGIAS (UNIDADE MONETÁRIA) COM O BROKER DESACTIVADO VS. HORA DO DIA (CENÁRIO 1)

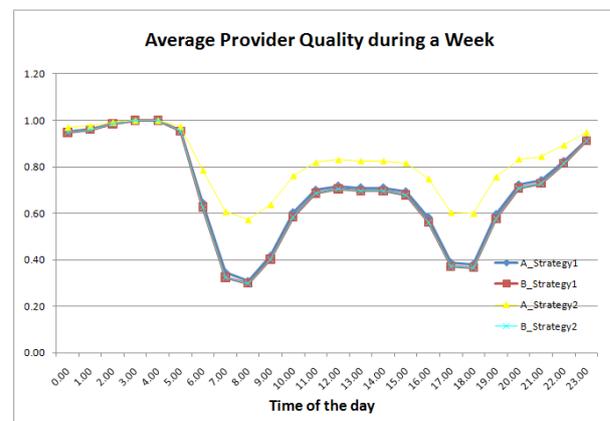


FIGURA 4 - QUALIDADE SEMANAL DAS REDES DOS OPERADORES PARA DIFERENTES ESTRATÉGIAS COM O BROKER DESACTIVADO VS. HORA DO DIA (CENÁRIO 1)

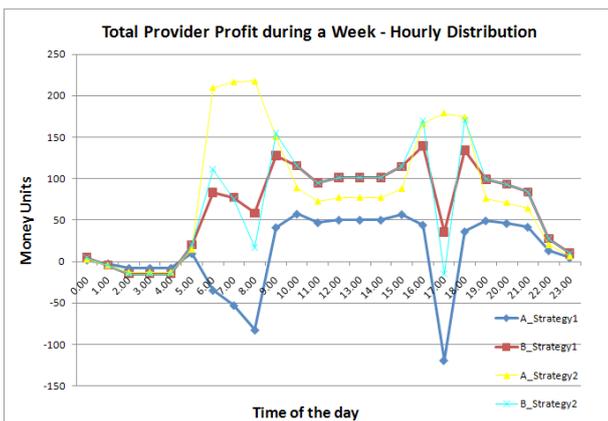


FIGURA 5 - LÚCRO SEMANAL DOS OPERADORES PARA DIFERENTES ESTRATÉGIAS (UNIDADE MONETÁRIA) COM O BROKER ACTIVO VS. HORA DO DIA (CENÁRIO 2)

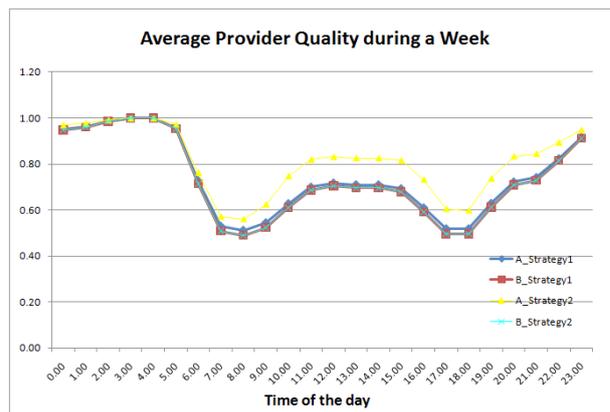


FIGURA 6 - QUALIDADE SEMANAL DAS REDES DOS OPERADORES PARA DIFERENTES ESTRATÉGIAS COM O BROKER ACTIVO VS. HORA DO DIA (CENÁRIO 2)

CONCLUSÃO

Este trabalho sugere a utilização de um serviço *broker* no acesso móvel através de uma infra-estrutura heterogénea de rede sem fios para lidar com o problema da congestão provocado por valores muito elevados de tráfego de dados, incluindo no acesso de *backhaul* à Internet. Utilizando-se dados reais de utilização de uma infra-estrutura de rede, tentou-se avaliar os ganhos na utilização nesta infra-estrutura desta nova proposta de gestão dos recursos disponíveis de rede baseada no serviço *broker*. As vantagens identificadas a partir do estudo analítico efectuado foram as seguintes: a possibilidade de ter uma maior justeza no mercado, uma melhoria na qualidade do serviço de ligação prestado aos clientes finais, e uma utilização mais eficiente dos recursos de rede disponíveis mesmo com recursos escassos em determinadas tecnologias de acesso. Finalmente, a utilização do novo conceito de *broker* em cenários com *femtocells* será bastante promissor.

AGRADECIMENTO

O primeiro autor deste trabalho agradece o suporte financeiro providenciado pela FCT durante a realização deste trabalho através da Bolsa SFRH/BD/28193/2006. ••

REFERÊNCIAS

- [1] Cisco Data Traffic Forecast Update, 2011–2016, http://www.cisco.com/en/US/solutions/collateral/ns341/ns525/ns537/ns705/ns827/white_paper_c11-520862.pdf (verified in 2012/04/10).
- [2] Moura, J., Dunmore, M., Edwards, C., Next generation network management of heterogeneous mobile users, In Proc. of the 6th ACM international Symposium on Mobility Management and Wireless Access, pp. 111–118, 2008.
- [3] Moura, J., Dunmore, M., Edwards, C., A congestion-sensitive model to manage a NGN environment with heterogeneous mobile customers, MSN09, 2009.
- [4] Moura, J., Dunmore, M., Edwards, C., NGN model with heterogeneous mobile customers, Trilogy Future Internet Summer School, 2009.
- [5] Salkintzis, A., Passas N., Emerging Wireless Multimedia: Services and Technologies, Wiley, ISBN: 978-0-470-02149-1, 2005.
- [6] Stevens-Navarro E., Pineda-Rico, U., Acosta-Elias, J., Vertical Handover in beyond Third Generation (B3G) Wireless Networks, International Journal of Future Generation Communication and Networking, vol. 1, no.1, pp. 51–58, 2008.
- [7] Kassar, M., Kervella, B., Pujolle, G., An overview of vertical handover decision strategies in heterogeneous wireless networks, Elsevier Comput. Commun., vol. 31, Issue 10, pp. 2607–2620, 2008.
- [8] Mackay, M., Moura, J., Edwards, C., Flexible host-based Handoff Selection for Next Generation Networks, In Proc. of Conference on Networking, pp. 703–712, 2008.
- [9] Yan, X., Sekercioglu, Y., Narayanan, S., A survey of vertical handover decision algorithms in Fourth Generation heterogeneous wireless networks, Computer Networks, vol. 54, Iss. 11, pp. 1848–1863, 2010.
- [10] Shenoy, N., Mishra, S., Vertical handoff and mobility management for seamless integration of heterogeneous wireless access technologies, in: Chapter 7, Hossain, E. (Editor), Heterogeneous Wireless Access Networks, Springer, ISBN: 978-0-387-09776-3, pp. 181–214, 2008.
- [11] Fernandes, S., Karmouchtenio, A., Design and analysis of an IEEE 802.21-based mobility management architecture: a context-aware approach, Wireless Networks, DOI 10.1007/s11276-012-0459-7, Springer, 2012.
- [12] IEEE Std 802.21-2008, IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks – Part 21: Media Independent Handover Services, 2009.
- [13] Lee, S., et al., Vertical Handoff Decision Algorithms for Providing Optimized Performance in Heterogeneous Wireless Networks, IEEE Trans. On Vehicular Technology, vol. 58, Issue 2, pp. 865–881, 2009.
- [14] Tsompanidis, I., Zahran, A., Sreenan, C., Towards utility-based resource management in heterogeneous wireless networks, In Proc. of the seventh ACM internat. workshop on Mobility in the evolving internet architecture (MobiArch), pp. 23–28, 2012.
- [15] Tran, N., et al., Collusion Resilient Credit-based Reputations for Peer-to-peer Content Distribution, Workshop on Economics of Networks, Systems and Computation (NetEcon), 2010.
- [16] Rebahi, Y., Mujica-V, V., Sisalem, D., A Reputation-Based Trust Mechanism for Ad-hoc Networks, In 10th IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC), 2005.
- [17] Roman, R., et al., Trust and Reputation Systems for Wireless Sensor Networks, On Security and Privacy in Mobile and Wireless Networking, Troubador Publishing Ltd, 2009.
- [18] Trestian R., Ormond, O., Muntean, G.-M., Reputation-based network selection mechanism using game theory, Elsevier Physical Communication, Recent Advances in Cooperative Comm. for Wireless Systems, Vol. 4, Iss. 3, , pp. 156–171, 2011.
- [19] Haiying S., Li, Z., Game-Theoretic Analysis of Cooperation Incentive Strategies in Mobile Ad Hoc Networks, IEEE Transactions on Mobile Computing, vol. 11, no. 8, pp. 1287–1303, Aug. 2012.
- [20] Josang, A., Ismail, R., Boyd, C., A survey of trust and reputation systems for online service provision, Decision Support Systems 43 (2), pp. 618–644, 2007.
- [21] Zekri, M., Jouaber, B., Zeghlache, D., On the use of network QoS reputation for vertical handover decision making, IEEE Globecom 2010 Workshop on Advances in Communications and Networks, pp. 2006–2011, 2010.
- [22] Piamrat, K., et al., Radio resource management in emerging heterogeneous wireless networks, Elsevier Comput. Commun., In press, 2010.
- [23] Sohail, S., Jha, S., The survey of bandwidth *broker*, Technical Report UNSW CSE TR 0206, School of Computer Science and Engineering, University of New South Wales, Sydney, 2002.
- [24] Borsetti, D., et al., Content discovery in heterogeneous mobile networks, in Ekram Hossain (Editor), Heterogeneous Wireless Access Networks, Springer, New York, USA, ISBN: 978-0-387-09776-3, 2008.
- [25] Yoon, J., et al., A Distributed Resource Management Framework for Interference Mitigation in OFDMA Femtocell Networks, Proc. of ACM International Conference on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MOBIHOC), 2012.
- [26] Vacirca, F., Ricciato, F., Pilz, R., Large-scale RTT measurements from an operational UMTS/GPRS network, Wireless Internet, 2005.