

A mobilidade dos utilizadores da eduroam ao longo dos anos

Nuno Cruz^{1,2}, Hugo Miranda², and Pedro Ribeiro¹

¹ Instituto Politécnico de Lisboa
Instituto Superior de Engenharia de Lisboa
ADEETC

² Universidade de Lisboa - Faculdade de Ciências
LaSIGE - Large-Scale Informatics Systems Laboratory

Resumo Os utilizadores de redes locais sem fios têm vindo a aumentar, muito graças à inclusão desta tecnologia nos telefones móveis. Importa agora perceber de que forma os utilizadores tiram partido desta combinação. Este artigo analisa o padrão de utilização de cerca de 49000 dispositivos e 31000 utilizadores que acederam a pelo menos um ponto de acesso do polo do Instituto Politécnico de Lisboa da rede sem fios eduroam. Os resultados sugerem que a introdução dos smartphones produziu alterações relevantes ao padrão de utilização, que se refletem quer na quantidade de tráfego quer na duração das ligações à rede.

1 Introdução

Os relatórios que têm vindo a público sobre a taxa de penetração de *smartphones* no mercado nacional sugerem que um número cada vez maior de utilizadores transporta consigo diariamente dispositivos de dimensão reduzida mas com elevadas capacidades de computação e comunicação. No entanto, os *smartphones* são apenas um subgrupo dos dispositivos móveis atuais. Existem outros dispositivos, de dimensão igualmente reduzida (por oposição a um computador portátil), que apresentam características semelhantes como os *tablets*, PDAs e até leitores de MP3. Em comum, estes dispositivos têm a conectividade a redes sem fios baseadas na norma IEEE 802.11, vulgarmente designadas por Wi-Fi.

Os diferentes tipos de dispositivos móveis têm diferentes padrões de utilização. Por exemplo, em contraste com um computador portátil, um *smartphone* favorece uma utilização mais curta, possivelmente enquanto o utilizador se encontra em movimento. Por outro lado, a reduzida dimensão destes dispositivos limita não só a sua capacidade de armazenamento como a interface com os utilizadores, em particular no que toca à introdução de dados. É por isso expectável que a emergência de dispositivos com expectativas de utilização e objetivos distintos venha a refletir-se numa alteração do padrão de utilização das redes sem fios.

O conhecimento sobre a forma e objetivos com que são utilizadas as redes sem fios é uma ferramenta importante para diversos atores da investigação e desenvolvimento em informática. Os programadores beneficiarão do conhecimento dos

padrões de comunicação dos dispositivos e do tempos de atenção dos utilizadores para criar aplicações mais proativas e que façam uma utilização mais eficiente da rede. Os investigadores poderão utilizar esta informação para o desenvolvimento de novos protocolos e para melhorar os modelos sintéticos de movimento e de encontros entre utilizadores, elementos fundamentais na avaliação de protocolos por simulação. Finalmente, os administradores de sistemas verão as suas tarefas de planeamento e gestão de infraestrutura simplificadas.

A rede eduroam é uma rede Wi-Fi de âmbito internacional concebida para interligar instituições de ensino. Uma das características mais relevantes desta rede é a transparência que apresenta aos seus utilizadores, uma vez que o acesso é condicionado apenas pela sua instituição de origem. A rede eduroam está disponível na maioria das instituições de ensino superior nacionais e, por consequência, para a quase totalidade da comunidade académica. O meio académico é um ambiente onde é possível encontrar um grande número de dispositivos móveis e uma propensão natural para a utilização de uma grande diversidade de dispositivos. Este artigo estuda os registos de acesso ao núcleo da rede eduroam instalada nos diferentes institutos, escolas e serviços do Instituto Politécnico de Lisboa (IPL) entre 2005 e 2012. O artigo apresenta duas contribuições. Em primeiro lugar, apresenta um conjunto de informações sobre a evolução da utilização da rede, medida em número e tipo de dispositivos, utilizadores e tráfego. Em segundo, demonstra que a introdução de equipamentos de dimensão reduzida no mercado provocou uma alteração não negligenciável no padrão de utilização da rede, que poderá influenciar não só a investigação mas também o desenvolvimento de aplicações e a gestão de rede nos próximos anos.

2 Trabalho relacionado

As diversas análises à mobilidade dos utilizadores que têm vindo a ser realizadas podem ser agrupadas pela forma de registo de dados. Os estudos intrusivos são aqueles que registam os dados diretamente no dispositivo transportado pelos utilizadores (por exemplo [5]). Estes beneficiam de grande detalhe sobre a atividade e movimento dos participantes, obtido por *software* ou *hardware* específico para o efeito. Infelizmente, estes estudos têm um problema de escalabilidade quer na duração quer no número de utilizadores o que limita as conclusões sobre a evolução da mobilidade dos utilizadores. O levantamento do trabalho relacionado concentra-se por isso nos estudos não intrusivos.

Em [7] os autores observam o tráfego e a mobilidade dos utilizadores numa rede sem fios num período de 12 semanas ao longo do semestre de inverno de 1999/2000. Infelizmente o período reduzido em que foi realizado não permitiu evidenciar evolução na mobilidade por parte dos utilizadores, também em muito devido ao estado ainda embrionário da tecnologia³ e consequente fraca adoção pelos utilizadores.

Em 2008 a rede WiFi do Dartmouth College foi objeto de uma avaliação muito semelhante à nossa [2]. Em comparação com o nosso estudo, este artigo

³ A primeira versão da norma IEEE802.11 foi publicada em 1997.

avalia um maior número de pontos de acesso, mas um menor número de utilizadores e espaço de tempo. O período avaliado concentra-se no semestre de inverno do ano letivo de 2003/2004. Os autores conseguiram apesar de tudo observar algumas evoluções no comportamento dos utilizadores, nomeadamente, um aumento do *handover*, ou seja, da migração de utilizadores entre pontos de acesso. Contudo, os resultados evidenciam que a maioria dos utilizadores permanece estática apesar do aumento do número de utilizadores e da utilização da rede. Os autores caracterizam também os utilizadores por tipo de edifício onde se costumam ligar, identificando assim o conjunto de espaços físicos onde existe um maior número de utilizadores. Adicionalmente, foi identificado que a maioria dos utilizadores tem uma localização preferida e que metade destes passa quase 99% do tempo nessa localização. Finalmente, o artigo faz também uma caracterização das aplicações usadas, identificando sobretudo o uso de sessões de difusão multimédia e Peer-to-Peer.

Num artigo posterior [3], o estudo da rede WiFi do Dartmouth College foi alargada para o período entre 2001 a 2004 e 2005 a 2006, momento em que se registou uma evolução da rede com o número de pontos de acesso a crescer para valores acima dos milhares e os utilizadores a chegar aos 24000. Os autores identificam um crescimento na mobilidade. No entanto, o foco do seu trabalho é agora na previsão da mobilidade. Neste estudo, a métrica utilizada para retratar a mobilidade é o número de APs visitados por utilizador ao longo do dia, métrica que reproduzimos no nosso estudo. Infelizmente, todos estes conjuntos de dados incluem apenas valores até 2006, excluindo portanto a mais recente vaga de dispositivos de elevada mobilidade, como é o caso do iPhone (2007⁴) e daqueles baseados em sistemas operativos Android (2008⁵).

Mais recentemente foi publicado um estudo de 2 meses sobre as redes edu-roam [4] das Universidades do Minho e Vigo. Os autores usam registos semelhantes aos deste artigo, mas incluindo a captura de tráfego para identificação de aplicações. A associação dos pontos de acesso a áreas físicas permitiu distinguir o tráfego gerado por zonas residenciais ou académicas. No âmbito deste trabalho foi concluído que os APs com mais utilizadores não são necessariamente aqueles onde os utilizadores produzem mais tráfego. O artigo propõe também um padrão de utilização semanal desta rede, que tal como esperado, sugere que a maioria dos utilizadores se liga à rede nos dias úteis. Em termos de mobilidade, os autores concluíram que 90% dos utilizadores usaram mais que um AP durante um mês, sendo que cerca de 35% usaram até 5 APs. Infelizmente, o largo intervalo de análise torna a noção de mobilidade bastante dispersa no tempo e pouco relevante na caracterização da mobilidade real dos utilizadores.

3 Caracterização do ambiente

A amostra de dados retirada é composta pela totalidade dos registos de acessos a todos os APs da rede edu-roam do Instituto Politécnico de Lisboa (IPL) entre

⁴ Ver: <http://en.wikipedia.org/wiki/IPhone>

⁵ Ver: [http://en.wikipedia.org/wiki/Android_\(operating_system\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Android_(operating_system))

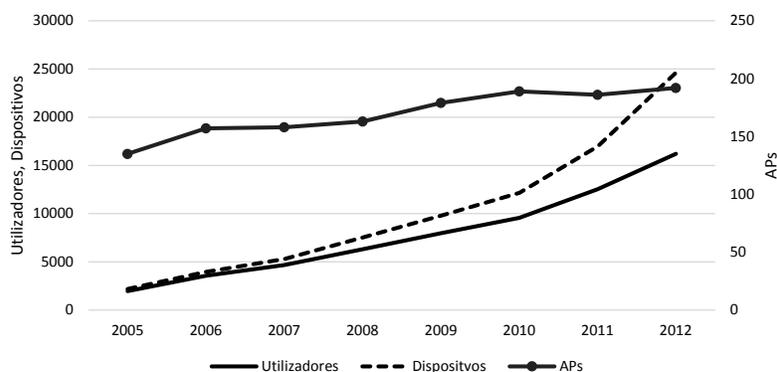


Figura 1: Evolução do número de dispositivos, utilizadores e pontos de acesso

1 de Janeiro de 2005 e 31 de Dezembro de 2012. Um total de 48699 dispositivos e 30629 utilizadores distintos acederam à rede neste período de tempo, gerando cerca de 31 milhões de acessos aos diferentes APs, o que corresponde a uma média de 516 acessos por hora.

O IPL é a 7^a maior instituição de ensino de Portugal. Conta atualmente com cerca de 1300 professores e 15 mil alunos, distribuídos por aproximadamente 88 cursos superiores, em 8 escolas/institutos superiores e ainda por 2 serviços na área metropolitana de Lisboa. A rede Wi-Fi do IPL é composta por cerca de 200 pontos de acesso (AP) do fabricante Cisco Systems cobrindo um total de 26 edifícios. Os diferentes pontos de acesso suportam desde a norma IEEE 802.11b até IEEE 802.11a/b/g/n. Todos os APs fornecem acesso à rede eduroam, quer a utilizadores locais quer de outras instituições.

A Fig. 1 apresenta a evolução anual do número de utilizadores e dispositivos distintos e APs instalados. O crescimento do número de APs é justificado, na larga maioria dos casos, pela necessidade de reforçar a cobertura inicial. A figura mostra um crescimento sustentável quer do número de utilizadores quer de dispositivos, confirmando o aumento da penetração da tecnologia Wi-Fi. Um aspeto relevante é a diferenciação do crescimento entre o número de utilizadores e de dispositivos, com este último a aumentar a um ritmo muito superior, sobretudo desde 2010. A diferenciação é atribuída ao aumento de vendas de *smartphones* e *tablets* que fez com que um número não negligenciável de utilizadores acceda à rede com mais que um dispositivo.

Utilizando uma observação baseada na componente *Organisationally Unique Identifier* (OUI) do endereço de nível de ligação de dados (MAC), é possível verificar que ao longo dos anos, as interfaces de redes sem fios identificadas como sendo do fabricante Intel representam cerca de 30% dos dispositivos. Os dispositivos com identificador Apple são aproximadamente 20%. Infelizmente, neste caso foi observado que existem dispositivos Apple cujo fabricante da interface

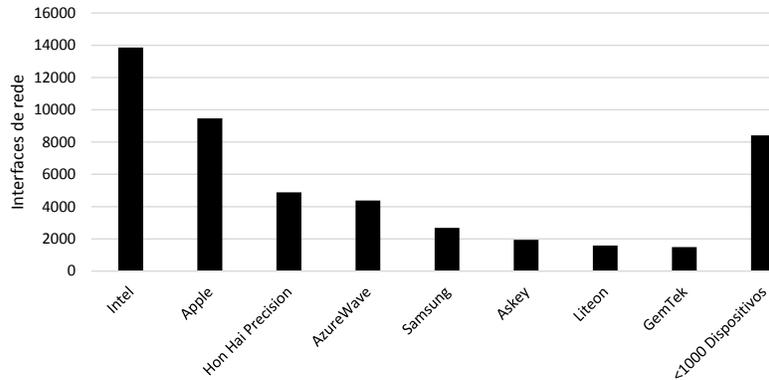


Figura 2: Fabricantes das interfaces de rede sem fios

de rede não é identificado com um OUI atribuído à Apple. No entanto estes não têm uma representação significativa no conjunto de dados disponível na Fig. 2.

Os registos dos servidores de DHCP [1] estão disponíveis a partir de 2009. Estes dados foram utilizados para identificar o sistema operativo dos dispositivos a partir dos campos *vendor*, *parameter request list* e *hostname* das mensagens DHCP. A identificação foi estendida para os anos anteriores, para os dispositivos que se associaram pelo menos uma vez desde 2009. Esta estratégia permitiu identificar 39782 dos 48699 dispositivos (81.6%) que se associaram à rede estudada entre 2005 e 2012.

A Fig. 3 apresenta a dispersão da totalidade dos dispositivos pelos sistemas operativos mais populares. Estes resultados podem não ser totalmente exatos, uma vez que *i*) os utilizadores podem manipular alguns dos dados enviados pelo cliente de DHCP e, *ii*) os dispositivos Apple mais recentes não enviam informação de *vendor*. Dispositivos com capacidades de suportar múltiplos sistemas operativos estão representados uma vez por cada sistema operativo detetado.

Se agregarmos os diferentes sistemas operativos por tipo de dispositivo móvel onde são instalados, concluímos que em 2012 eram já mais de 20% os dispositivos de pequenas dimensões (*smartphones*, *PDA*s, *tablets*, etc.) a utilizar a rede. A Fig. 4 apresenta a evolução do peso dos dispositivos de pequenas dimensões ao longo do período em estudo.

Os acessos à rede foram recolhidos a partir de registos dos servidores de RADIUS [6] e DHCP. A análise dos dados centra-se no uso dos registos de RADIUS. Este serviço é responsável pela autenticação de todos os pedidos de acesso à rede eduroam. O serviço RADIUS gera eventos sempre que um utilizador se associa ou termina a sua associação à rede, bem como aquando da troca de mensagens *keep-alive* que visam confirmar a presença de um utilizador já autenticado. Cada associação gera um registo contendo o endereço MAC do cliente, o AP, nome de utilizador, horas de entrada, saída e última atualização e o tráfego enviado e recebido durante a sessão. De notar que cada registo produzido

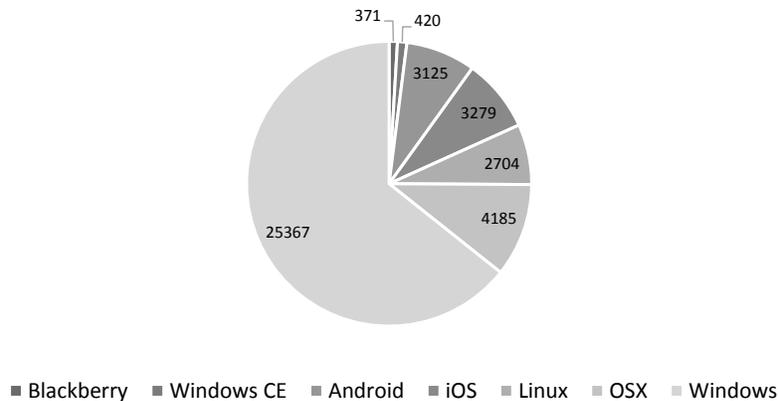


Figura 3: Sistemas operativos detetados (por ordem crescente)

reproduz o conceito de sessão do RADIUS, considerando apenas a associação de um utilizador a um ponto de acesso, ignorando portanto a mobilidade dos utilizadores.

A evolução do número total de sessões RADIUS é apresentada na Fig. 5. Infelizmente, este indicador sofre de algumas debilidades que podem levar a um aumento artificial do número de sessões, resultantes de: *i*) comutações automáticas entre APs, despoletadas por variações na força do sinal; *ii*) incompatibilidades entre os drivers dos clientes e as versões dos protocolos executadas no AP e; *iii*) utilização de mecanismos de gestão de energia que desligam a interface rádio sempre que o utilizador desliga o ecrã do dispositivo. Interpretações dos resultados que dependem do número de sessões deverão por isso ser feitas com algum cuidado e tendo em consideração estes fatores. A evolução temporal do número absoluto de sessões terá ainda que considerar o progressivo reforço da capacidade da rede eduroam no IPL (cf. Fig. 1), o qual em situações de mobilidade do utilizador poderá aumentar o número de sessões estabelecidas para um mesmo trajeto realizado em anos distintos.

4 Análise genérica de dados

A Fig. 6 apresenta a evolução no tráfego consumido pelos utilizadores. Verifica-se um aumento sustentado de todos os tipos de tráfego até 2011. Este crescimento está em linha com o crescimento do número de utilizadores e dispositivos que se registou. Contudo, em 2012 observa-se uma diminuição do ritmo de crescimento dos *downloads* e mesmo uma quebra no valor absoluto do tráfego de *upload*, suficiente para que neste ano se registre uma diminuição absoluta do tráfego total.

Os valores de 2012 estão em claro contraste com o aumento significativo de dispositivos e utilizadores apresentado na Fig. 1. A introdução das tarifas planas

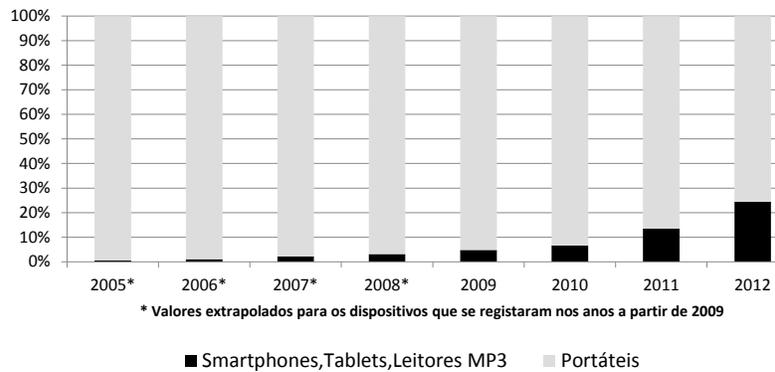


Figura 4: Evolução da proporção de computadores portáteis e outros dispositivos móveis

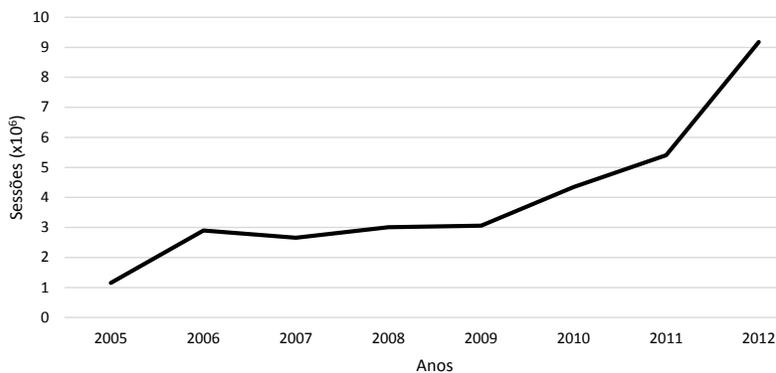


Figura 5: Evolução anual do número de sessões

para o tráfego de dados pelos operadores de telefonia móvel 3G e 4G, uma hipotética sobrecarga da infraestrutura ou a introdução de novas políticas de limitação de tráfego poderiam ajudar a explicar esta alteração. Contudo, não foi registada a ocorrência de nenhuma das duas últimas hipóteses e a primeira não justifica a diferença da direção assumida pelas curvas de *upload* e *download*. Esta é atribuída a uma alteração no padrão de utilização dos dispositivos, com uma diminuição da sua faceta de produtores de informação. Esta conclusão está em linha com o aumento do peso dos dispositivos de dimensão muito reduzida, que não favorecem nem a introdução nem o armazenamento de dados para posterior disponibilização pública (por exemplo através de redes entre pares).

Um aspeto relevante é que apesar da diminuição do tráfego, o número total de sessões e o tempo de utilização continua a aumentar, tal como pode ser observado nas Figs. 5 e 7. Ou seja, tem vindo a aumentar o tempo durante o

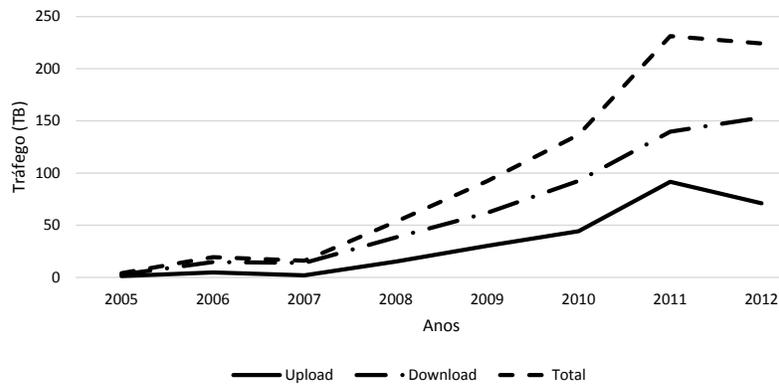


Figura 6: Evolução anual do tráfego

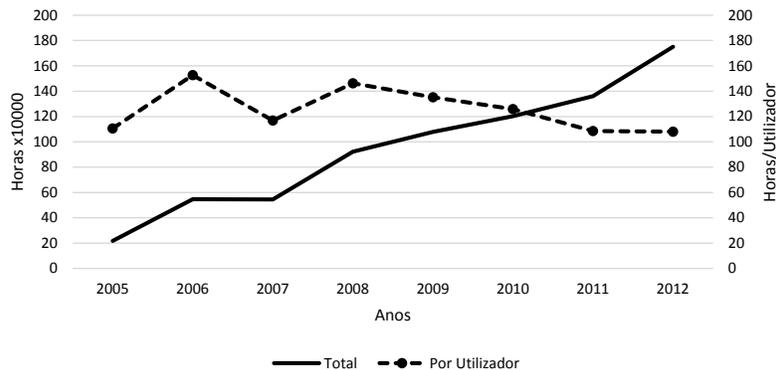


Figura 7: Evolução anual do tempo de utilização

qual os dispositivos estão associados a um ponto de acesso mas não utilizam a rede. Adicionalmente, constata-se uma diminuição constante do tempo médio de conectividade por utilizador desde 2008, o que sugere que o aumento do tempo acumulado de utilização da rede está a ser exclusivamente suportado pelo crescimento do número de utilizadores.

5 Mobilidade

Um dos indicadores avaliados no estudo da mobilidade é o número de APs distintos visitados diariamente por utilizador. A Fig. 8 sugere que a mobilidade dos utilizadores pode ser particionada em 3 fases distintas.

O período entre 2005 e 2007 é caracterizado pela estabilidade quer do número médio de pontos de acesso visitados quer pela duração das sessões. Ou seja,

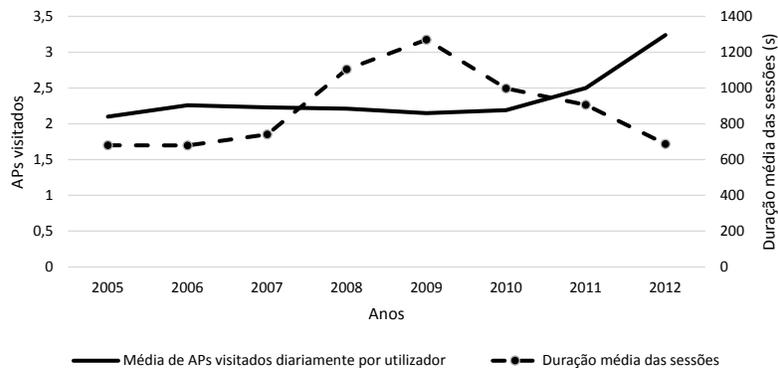


Figura 8: Evolução anual do número de APs visitados e da duração das sessões

tendencialmente os dispositivos mantinham-se fixos, não se registando variações significativas na utilização dos mesmos. Esta estabilidade é coerente com a relação de 1 para 1 entre utilizadores e dispositivos para a mesma época (cf. Fig. 1), a quase nula presença de dispositivos de pequena dimensão (Fig. 4) e o quase nulo crescimento do tráfego revelado pela Fig. 6.

O segundo período (entre 2007 e 2009) regista um aumento de quase 100% na duração média das sessões mas sem que tal provoque alteração no número de pontos de acesso visitados. A Fig. 6 mostra que este período coincide com o despontar do crescimento do tráfego, apesar de o número de utilizadores continuar a crescer a um ritmo quase linear. A distanciação mínima entre o número de dispositivos e o número de utilizadores nesta fase e a manutenção do número de APs visitados sugere que esta época é caracterizada exclusivamente por um aumento da intensidade de utilização da eduroam no IPL.

O ano de 2010 marca o início de um novo padrão de utilização, com a duração média de sessão a cair progressivamente até atingir em 2012 valores comparáveis a 2005 em contraste com o aumento do número médio de pontos de acesso visitados. Este resultado corresponde às nossas expectativas de que se está a verificar uma alteração significativa no padrão de acesso às redes sem fios. O facto de este período ser também aquele em que por um lado, o rácio entre dispositivos e utilizadores mais cresce e aquele em que o peso dos dispositivos de dimensão reduzida ganha relevância sugere que a alteração do padrão de utilização se deve à introdução destes dispositivos.

A Fig. 9 aprofunda o estudo sobre a mobilidade dos utilizadores analisando a distribuição do número de pontos de acesso visitados diariamente por utilizador. Os resultados estão em linha com o observado anteriormente, com uma grande estabilidade dos valores até 2010. Neste período, menos de 10% dos utilizadores visitaram 4 ou mais APs num dia. A partir de 2010 observa-se um crescimento constante do peso do número de registos com mais de 5 APs visitados, que é já superior a 15% em 2012. Estes resultados confirmam as suspeitas de uma cres-

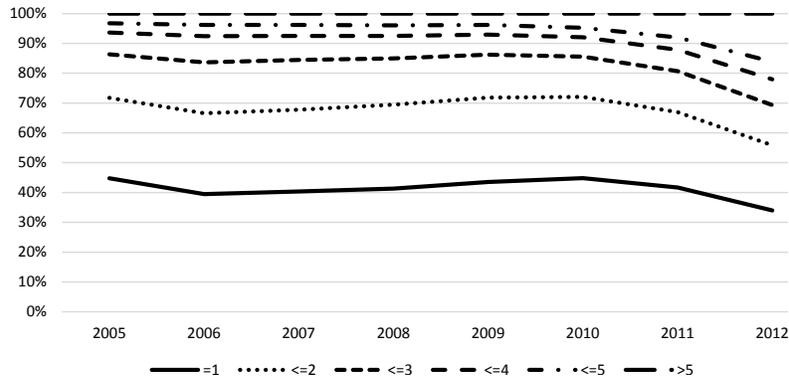


Figura 9: Total de APs distintos visitados por utilizador por dia

2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
18	22	25	25	27	28	32	52

Tabela 1: Máximo de APs visitados por pelo menos um utilizador num só dia

cente mobilidade dos utilizadores. Embora sem relevância estatística e sobretudo a título de curiosidade, a Tab. 1 apresenta a evolução do número máximo de APs visitados por um único utilizador.

Por outro lado, a diminuição do tráfego e da duração média das sessões (resp. Figs. 6 e 8) levanta questões sobre a utilidade das sessões. A avaliação da distribuição do tempo médio de sessão é apresentada na Fig. 10, onde são visíveis 2 padrões distintos. Entre 2005 e 2009 aproximadamente 80% das sessões apresentavam uma duração inferior a $5min$, com mais de 50% no intervalo entre $1min$ e $5min$. Em contraste, a partir de 2010, mais de 50% das sessões têm duração inferior a $1min$. No entanto, a distribuição da duração das restantes sessões é mais homogénea.

O número não negligenciável de sessões com duração inferior a $1min$ pode ser interpretado de diversas formas. Por um lado, pode representar apenas a ocorrência de problemas ao nível de um dos protocolos envolvidos no estabelecimento e/ou manutenção de sessões, que forçam os dispositivos a reiniciar com frequência o processo. Contudo, esperar-se-ia que a proporção de sessões com problemas se mantivesse constante ao longo do tempo ou mesmo que diminuísse, em resultado das melhorias tecnológicas e da eliminação de erros na concretização dos protocolos quer nos servidores que os suportam quer nos dispositivos móveis. Adicionalmente, a atribuição destas sessões exclusivamente a problemas de protocolos não justifica a diminuição do tráfego produzido, o aumento do número de pontos de acesso visitados por utilizador por dia ou a diminuição do número de horas por utilizador (Cf. respetivamente as Figs. 6, 9 e 7). Uma alternativa passa por relacionar os 2 padrões observados com a introdução dos dispositivos

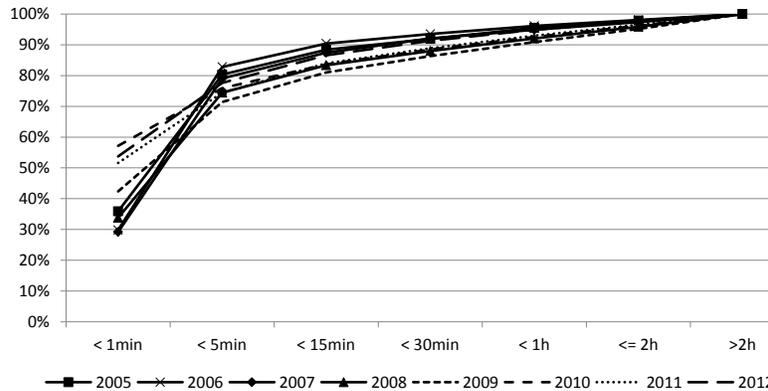


Figura 10: Duração detalhada das sessões

móveis de dimensão reduzida, que ganha visibilidade a partir de 2009. Neste caso, as sessões de muito curta duração podem ser atribuídas a utilizadores que dispoendo destes dispositivos mantêm as interfaces de rádio ligadas quando em trânsito entre diferentes pontos do campus, estabelecendo ligações com os pontos de acesso ao seu alcance enquanto se deslocam.

6 Conclusões

O conhecimento dos padrões de utilização e mobilidade dos utilizadores das redes sem fios pode contribuir para o aumento da eficiência das aplicações. Para a comunidade académica, este conhecimento contribui para o desenvolvimento de protocolos mais adequados e para a conceção de modelos de avaliação mais realistas.

Este artigo estuda a utilização do núcleo da rede eduroam administrada pelo Instituto Politécnico de Lisboa (IPL) entre 2005 e 2012. O estudo aborda as variações do número de utilizadores, tráfego e número de sessões estabelecidas.

Os resultados confirmam um crescimento significativo do número de utilizadores e dispositivos embora estes estejam a crescer a um ritmo bem mais significativo. Os resultados mostram também que a mobilidade tem vindo a aumentar ao longo dos anos, existindo cada vez mais utilizadores que visitam diariamente 6 ou mais pontos de acesso. A conjugação de ambos os resultados sugere que está em curso uma alteração do padrão de utilização das redes sem fios. Tendencialmente, cada utilizador passará a aceder às redes sem fios através de 2 dispositivos, sendo que um estará ligado mesmo quando o utilizador se encontra em movimento. No entanto, o aumento do número de dispositivos e de conectividade não se reflete no consumo de tráfego, que tende a diminuir.

6.1 Trabalho Futuro

O trabalho futuro continuara em duas direções. Por um lado, a continuação do armazenamento dos dados permitirá verificar no futuro a continuação das tendências observadas ou identificar novos padrões de utilização no futuro. Adicionalmente, o processamento automático dos dados será estendido, em particular por forma a possibilitar distinguir as sessões intencionalmente curtas daquelas que resultam de instabilidades na associação dos dispositivos aos pontos de acesso.

Por outro, o tratamento dos dados agora recolhidos irá focar-se no estudo de padrões de mobilidade através da análise da sequência de associações a pontos de acesso dos utilizadores, da incorporação de informação de localização geográfica dos pontos de acesso e da identificação de correlações no movimento dos utilizadores. O objetivo último será a definição de novos modelos de mobilidade sintéticos, para utilizar na validação de novos protocolos de difusão de dados em simuladores.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos revisores anónimos as valiosas contribuições para a interpretação dos dados.

Referências

1. Droms, R.: Dynamic Host Configuration Protocol. RFC 2131 (Draft Standard) (Mar 1997), <http://www.ietf.org/rfc/rfc2131.txt>
2. Henderson, T., Kotz, D., Abyzov, I.: The changing usage of a mature campus-wide wireless network. *Computer Networks* 52(14), 2690–2712 (2008)
3. Kim, J., Helmy, A.: Analyzing mobility evolution in wlan users: how predictable are we? *SIGMOBILE Mob. Comput. Commun. Rev.* 14(3), 10–12 (Dec 2010)
4. Mulhanga, M., Lima, S., Carvalho, P.: Characterising university wlangs within eduroam context. In: Balandin, S., Koucheryavy, Y., Hu, H. (eds.) *Smart Spaces and Next Generation Wired/Wireless Networking*, LNCS, vol. 6869, pp. 382–394. Springer (2011)
5. Piorkowski, M., Sarafijanovic-Djukic, N., Grossglauser, M.: CRAW-DAD data set epfl/mobility (v. 2009-02-24). Downloaded from <http://crawdad.cs.dartmouth.edu/epfl/mobility> (Feb 2009)
6. Rigney, C.: RADIUS Accounting. RFC 2866 (Informational) (Jun 2000), <http://www.ietf.org/rfc/rfc2866.txt>
7. Tang, D., Baker, M.: Analysis of a local-area wireless network. In: *Proc. of the 6th Annual Int'l Conf. on Mobile computing and networking (Mobicom'00)*. pp. 1–10. ACM (2000)