

*Instituto Politécnico de Leiria*



*Departamento de Engenharia Informática*

*Dissertação de Mestrado em Engenharia Informática*  
*Computação Móvel*

# **Automatização em redes locais sem fios de larga escala**

**Daniel Alexander Lopes Fuentes**

**Agosto de 2013**



# Agradecimentos

Gostaria de começar por agradecer ao meu orientador Professor Doutor António Pereira, por todo o apoio, motivação e conselhos que este me deu ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço ao INOV - INESC Inovação, delegação na ESTG Leiria, pela confiança depositada em mim e por me abrir as portas ao mundo da investigação, o qual era desconhecido para mim.

Quero agradecer também ao Centro de Investigação em Informática e Comunicações do Instituto Politécnico de Leiria pelos meios e condições que colocou à minha disposição para a elaboração deste trabalho.

Agradeço ainda à Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria, por me ter proporcionado a oportunidade de realizar o Mestrado em Engenharia Informática - Computação Móvel.

Por último, mas não menos importante, um enorme agradecimento à minha família, namorada e amigos, cujo apoio foi fundamental para conseguir superar as dificuldades pelas quais passei ao longo deste ano.



## Resumo

A evolução constante das tecnologias de informação e comunicação cria a necessidade, por parte dos operadores de comunicações, de um investimento crescente, inovador e efetivo a nível das suas infraestruturas, de forma a se adaptarem à realidade atual. Neste caso, a grande dificuldade detém-se no facto de que este mesmo investimento apenas acontece nos grandes centros populacionais e não nas zonas rurais e dispersas, visto estas não proporcionarem o retorno financeiro desejado. Tendo em conta os factos supracitados, os serviços disponíveis nas zonas com menos população são, na maior parte dos casos, de pouca qualidade, nomeadamente o acesso à Internet. Para colmatar esta desigualdade têm surgido cada vez mais projetos de redes sem fios como alternativa aos operadores de comunicações. No entanto o investimento financeiro necessário para implementar e manter estes projetos revelou-se difícil de suster, por estes abrangerem zonas populacionais muito dispersas que se encontram demasiado distantes das equipas especializadas, tornando-os não sustentáveis. Outro fator importante nestas infraestruturas é o de os recursos disponíveis serem escassos e estarem partilhados por todos os utilizadores. Além disso, neste tipo de redes coexiste todo o tipo de tráfego, o qual tem que ser devidamente identificado e classificado. Tendo por base os fatores referidos anteriormente, a presente dissertação apresenta duas soluções que podem dar uma resposta eficaz às necessidades referidas.

A primeira tem como objetivo tornar as soluções de redes locais sem fios de larga escala, sustentáveis, autónomas e inteligentes, reduzindo assim os custos associados com a implementação e manutenção das mesmas. Isto é conseguido através de dispositivos que conseguem instalar-se e configurar-se automaticamente na rede na qual são inseridos, sem a intervenção de administradores ou técnicos especializados, minimizando assim os problemas associados à dispersão dos equipamentos em ambientes rurais.

Já a segunda, de qualidade de serviço distribuído e dinâmico, tem como finalidade criar políticas de qualidade de serviço baseadas na utilização da rede. Desta forma a partilha dos escassos recursos disponíveis é otimizada de acordo com as necessidades da rede e das diferentes horas do dia, o que não acontece com estratégias de qualidade de serviço estáticas.

Os resultados alcançados em laboratório e em cenário real revelaram a fiabilidade das soluções, apresentando tempos rápidos na execução das tarefas que cada uma tem de realizar. Estes testes também demonstraram a autonomia das soluções e a fácil integração com outros sistemas existentes.

Desta dissertação resultam duas soluções cujo objetivo é automatizar as redes locais sem fios de larga escala de forma a torná-las sustentáveis, autónomas e eficientes.

# Abstract

The constant evolution of the information and communication technologies has created the need for the communication operators to invest on their own infrastructures as a way to adapt to the current reality. The problem is that this investment only occurs in major population centers, and not in rural and dispersed zones, because these do not provide the desired financial return. Having regard to the above facts, the services available in areas with low population have low quality, particularly the Internet. To bridge this inequality have emerged more and more projects of wireless network as an alternative to the communication operators. However, the financial investment required to implement and maintain these projects proved quite high in these areas of widely dispersed populations that are too distant from specialized teams, making them unsustainable. Another important factor in these infrastructures is that the available resources are scarce and shared by all users. Moreover, in this kind of networks coexist all types of traffic, which must be properly identified and classified. Based on the factors mentioned above, this dissertation presents two systems that could give an effective solution to the previously spoken need.

The first aims to make large-scale wireless local area networks sustainable, autonomous and intelligent, thereby reducing the costs associated with the implementation and maintenance of the same. This is achieved through devices that are able to install and configure themselves automatically on the network in which they are, without the intervention of administrators or technicians, thus minimizing the problems associated with the dispersion of equipment in rural environments.

While the second, of quality of service distributed and dynamic, aims to create quality of service policies based on the use of the network. In this way, the sharing of scarce resources is optimized according to the needs of the network and the different hours of the day, which does not happen in strategies of static quality of service.

The results achieved in the laboratory and in real scenario revealed the reliability of the solutions, with fast times in executing the tasks that each one must perform. These tests have also demonstrated the autonomy of the solutions and the easy integration with other existing systems.

As result of this dissertation there are two solutions whose objective is to automate large-scale wireless local area networks in order to make them sustainable, autonomous and efficient.

# Índice de conteúdos

1	Introdução.....	1
1.1	Objetivos propostos .....	3
1.2	Estrutura do documento .....	4
2	Revisão da literatura.....	5
2.1	Redes locais sem fios de larga escala .....	5
2.2	Configuração dinâmica .....	6
2.3	Síntese.....	10
3	Configuração dinâmica .....	13
3.1	Arquitetura definida.....	13
3.1.1	Agentes .....	15
3.1.2	Rede de configuração .....	18
3.1.3	Funcionamento do sistema .....	19
3.1.4	Algoritmo .....	23
3.1.5	Comunicação no DWCS.....	24
3.1.6	Pontos-chave do sistema.....	25
3.2	Testes e resultados .....	26
3.2.1	Cenário de testes.....	26
3.2.2	Objetivo dos testes.....	28
3.2.3	Testes de instalação .....	28
3.2.4	Testes de configuração .....	29
3.2.5	Testes de recuperação .....	30
3.2.6	Testes de convergência da rede .....	30
3.2.7	Testes da plataforma de configuração .....	32
3.2.8	Testes em cenário real .....	34
3.3	Análise dos resultados .....	36

3.4	Síntese.....	37
4	Qualidade de serviço dinâmica .....	39
4.1	QoS em redes locais sem fios de larga escala.....	40
4.2	Arquitetura definida.....	41
4.2.1	Agentes.....	43
4.2.2	QoS definida para o caso de estudo.....	45
4.2.3	Criação de perfis de QoS.....	46
4.2.4	Funcionamento do sistema .....	50
4.2.5	Comunicação no DQoSS.....	52
4.3	Testes e resultados .....	53
4.3.1	Cenário de testes.....	53
4.3.2	Objetivo dos testes.....	54
4.3.3	Testes de análise de estatísticas.....	54
4.3.4	Testes de atualização de perfis de QoS .....	56
4.3.5	Testes de configuração dos equipamentos.....	57
4.3.6	Testes de análise de tráfego e largura de banda.....	60
4.3.7	Testes em cenário real .....	61
4.4	Análise dos resultados .....	62
4.5	Síntese.....	62
5	Conclusões .....	63
5.1	Trabalho futuro .....	65
	Bibliografia.....	67

# Índice de ilustrações

Ilustração 1 - Rede local sem fios de larga escala .....	6
Ilustração 2 - Infraestrutura da rede.....	14
Ilustração 3 – Arquitetura do sistema.....	15
Ilustração 4 – Agente Cliente .....	16
Ilustração 5 – Agente Distribuição .....	17
Ilustração 6 - Agente Servidor.....	17
Ilustração 7 - Comunicação entre sistemas.....	18
Ilustração 8 - Distribuição Principal.....	20
Ilustração 9 - Distribuição Secundária.....	20
Ilustração 10 - Processo de configuração (1).....	21
Ilustração 11 - Processo de configuração (2).....	21
Ilustração 12 - Processo de configuração (3).....	22
Ilustração 13 - Processo de configuração (4).....	22
Ilustração 14 - Processo de configuração (5).....	22
Ilustração 15 - Algoritmo de configuração.....	23
Ilustração 16 - Comunicação no DWCS .....	25
Ilustração 17 – Cenário de testes .....	26
Ilustração 18 - Rede Memória Online .....	27
Ilustração 19 - Tempos de configuração da DP.....	31
Ilustração 20 - Tempos de configuração da DS.....	31
Ilustração 21 - Tempos de configuração do Cliente .....	32
Ilustração 22 - Mapa da rede .....	33
Ilustração 23 - Mapa da rede (atualizado) .....	34
Ilustração 24 - Implementação de QoS.....	41
Ilustração 25 – Arquitetura Geral .....	42
Ilustração 26 – Agente Cliente .....	43
Ilustração 27 – Agente Core .....	44
Ilustração 28 - Agente Gateway .....	44
Ilustração 29 - Agente Servidor.....	45
Ilustração 30 - Classes de QoS .....	46
Ilustração 31 – Exemplo de <i>upload</i> num dia .....	47

Ilustração 32 - Perfil de QoS para <i>gateway</i> .....	49
Ilustração 33 – QoS na Rede .....	50
Ilustração 34 - Funcionamento do agente Servidor .....	51
Ilustração 35 – Funcionamento dos agentes Cliente/Core/Gateway .....	52
Ilustração 36 - Comunicação no DQoSS .....	53
Ilustração 37 - Cenário de testes .....	54
Ilustração 38 - Tráfego HTTP .....	55
Ilustração 39 - Tráfego HTTPS .....	55
Ilustração 40 - Tráfego Redes Sociais .....	55
Ilustração 41 - Tráfego Streaming de Vídeo .....	55
Ilustração 42 - Tráfego Indefinido .....	55
Ilustração 43 – Exemplo de uma atualização de QoS em CSV .....	56
Ilustração 44 - Configuração de Clientes .....	57
Ilustração 45 - Configuração de Core .....	58
Ilustração 46 - Configuração de Gateway .....	58
Ilustração 47 - QoS inicial do equipamento .....	59
Ilustração 48 - QoS enviado pelo DQoSS .....	60
Ilustração 49 - Análise com jPerf .....	61

# Índice de tabelas

Tabela 1 - Tempos médios na instalação .....	29
Tabela 2 - Tempos médios na reconfiguração.....	29
Tabela 3 - Tempos médios na recuperação .....	30
Tabela 4 - Testes de instalação em cenário real .....	35
Tabela 5 - Testes de configuração em cenário real .....	35
Tabela 6 - Testes de recuperação em cenário real .....	35
Tabela 7 - Testes de convergência em cenário real .....	36
Tabela 8 - Dados provenientes do Nagios .....	56



## Listagem de acrónimos

<b>Sigla</b>	<b>Significado</b>
<b>ADSL</b>	Asymmetric Digital Subscriber Line
<b>AOSS</b>	AirStation One-Touch Secure System
<b>AP</b>	Access Point
<b>CoS</b>	Class of Service
<b>CSV</b>	Comma-Separated Values
<b>DiffServ</b>	Differentiated Services
<b>DP</b>	Distribuição Principal
<b>DQoS</b>	Dynamic Quality of Service System
<b>DS</b>	Distribuição Secundária
<b>DSCP</b>	Differentiated services code point
<b>DWCS</b>	Dynamic Wireless Configuration System
<b>FTP</b>	File Transfer Protocol
<b>HTTP</b>	HyperText Transfer Protocol
<b>HTTPS</b>	HyperText Transfer Protocol Secure
<b>IEEE</b>	Institute of Electrical and Electronics Engineers
<b>IntServ</b>	Integrated Services
<b>IP</b>	Internet Protocol
<b>ISP</b>	Internet Service Provider
<b>LAN</b>	Local Area Network
<b>MIMD</b>	Multiple Increase / Multiple Decrease
<b>P2P</b>	Peer-to-Peer
<b>PBC</b>	Push Button Configuration

<b>PIN</b>	Personal Identification Number
<b>QoS</b>	Quality of Service
<b>RSVP</b>	Resource Reservation Protocol
<b>SOHO</b>	Small Office / Home Office
<b>TOS</b>	Type of Service
<b>Wi-Fi</b>	Wireless Fidelity
<b>WLAN</b>	Wireless Local Area Network
<b>WPA</b>	Wi-Fi Protected Access
<b>WPS</b>	Wi-Fi Protected Setup
<b>WSN</b>	Wireless Sensor Network

# Capítulo 1

---

## 1 Introdução

Em Portugal, segundo dados estatísticos da ANACOM [1], no final do primeiro trimestre de 2013 existiam 2,4 milhões de acessos fixos à Internet e 3,4 milhões de acessos via banda larga móvel. Estes dados só comprovam a realidade tecnológica evolucionária a que assistimos todos os dias, devido à crescente necessidade de utilização da Internet. Apesar dos números apresentados serem bastantes elevados, devemos ter em conta que estes refletem maioritariamente o que acontece nos grandes centros populacionais, visto estes possuírem uma melhor cobertura e serviço por parte dos operadores de comunicações no acesso à Internet.

Nas zonas rurais o investimento por parte dos operadores de comunicações é muito reduzido, isto deve-se à dispersão das mesmas, à fraca densidade populacional e ao retorno financeiro pouco lucrativo [2]. Este fraco investimento traduz-se num acesso à

Internet insuficiente, chegando mesmo a ser inexistente. Devido a esta situação existe a necessidade do aparecimento de soluções que suprimam esta problemática, como é o caso das redes rurais, cujo objetivo é colmatar as exigências a nível de acesso à Internet e de outros serviços [3]. Esta problemática é ainda agravada pela dimensão inerente às vastas áreas geográficas que este tipo de infraestruturas tem que abranger [4]. Os factos supramencionados levantam não só questões a nível financeiro, dificuldades técnicas a nível de instalação e manutenção neste tipo de redes, mas também problemas na gestão dos escassos recursos proporcionados pelos operadores de comunicações nestas zonas.

Este tipo de redes, denominadas de redes locais sem fios de larga escala (*Large-Scale WLAN*<sup>1</sup>) [5], é composto por vários pontos de distribuição espalhados geograficamente e interligados entre si. A configuração desses pontos de distribuição está dependente, aquando da instalação da rede, da intervenção por parte do administrador, no sentido de criar interligações ponto-a-ponto entre as várias distribuições.

Este facto leva a que a instalação e gestão da infraestrutura de rede seja um processo complexo, o que por vezes pode levar à existência de problemas de configuração nos equipamentos, os quais na maioria das vezes implicam a deslocação de equipas especializadas ao local. Estas dificuldades são transversais não só à fase de implementação da rede como também durante a fase de manutenção da mesma, nomeadamente desconfigurações de equipamentos e alterações obrigatórias na topologia de rede. Todos estes fatores elevam os custos associados à manutenção de uma rede local sem fios de larga escala [6].

Os factos supracitados aliados à localização rural deste tipo de redes leva a que o seu custo de manutenção seja agravado pela distância a que as equipas especializadas se encontram. De forma a minimizar esses entraves são implementados sistemas de monitorização e gestão remota da rede que ajudam a reduzir os custos de manutenção. Isto é possível pelo facto destes sistemas permitirem que seja feita uma gestão centralizada de toda a rede, monitorizando e fornecendo acesso a todos os equipamentos presentes na mesma [7].

No entanto, estes sistemas de monitorização apenas são eficazes se todos os equipamentos estiverem alcançáveis na rede. Quando isso não acontece pouco ou nada

---

<sup>1</sup> do inglês Wireless Local Area Network

pode ser feito, a não ser enviar uma equipa especializada ao local para resolver a situação.

Por outro lado, a problemática dos escassos recursos existentes a nível de serviços, nomeadamente o acesso à Internet, associada ao elevado número de utilizadores que partilham esses mesmos serviços, exige que sejam implementadas políticas de qualidade de serviço (QoS<sup>2</sup>), de forma a manter a equidade da utilização por parte dos utilizadores. Estas políticas, normalmente estáticas, por vezes não são suficientes para aproveitar, de uma forma mais eficiente, os poucos recursos disponíveis.

## **1.1 Objetivos propostos**

Pretende-se com esta dissertação apresentar um conjunto de soluções com o intuito de suprimir as necessidades identificadas anteriormente - nomeadamente a instalação e configurações de equipamentos dispersos e a partilha de recursos escassos - propondo para isso as seguintes soluções:

- Criar um sistema autónomo, distribuído e inteligente que visa a autoconfiguração de equipamentos presentes numa infraestrutura de rede local sem fios de larga escala em ambientes rurais, proporcionando a redução de custos na implementação e manutenção da mesma; minimize a necessidade de intervenção de equipas especializadas no terreno; reduza os problemas inerentes à dispersão geográfica dos equipamentos e à sua acessibilidade e que não imponha limitações em termos de escalabilidade da infraestrutura.
- Desenvolver um sistema autónomo, adaptativo e distribuído que permita a configuração dinâmica de QoS de equipamentos presentes em infraestruturas de rede em ambientes rurais, proporcionando a otimização dos escassos recursos das mesmas; implemente um sistema de qualidade de serviço que se adapte às necessidades dos utilizadores em função dos recursos disponíveis e das políticas de gestão de tráfego definidas.

---

<sup>2</sup> do inglês Quality of Service

## 1.2 Estrutura do documento

Para além do presente capítulo onde se enquadra a presente solução e se efetua a definição dos objetivos propostos, este documento encontra-se dividido em cinco capítulos.

O capítulo 2 apresenta o trabalho relacionado na área das redes locais sem fios de larga escala, na configuração automática de equipamentos e na configuração dinâmica de qualidade de serviço.

No capítulo 3 é apresentado o sistema *Dynamic Wireless Configuration System* (DWCS), capítulo esse no qual são expostas a arquitetura definida com os respetivos agentes, o funcionamento do mesmo, os algoritmos utilizados, comunicação entre agentes e os pontos-chave do sistema. São ainda apresentados o cenário de testes, os respetivos objetivos e os resultados obtidos.

Posteriormente, no capítulo 4, é apresentado o sistema *Dynamic Quality of Service System* (DQoSS), no qual são abordadas a arquitetura definida e os agentes integrados, a qualidade de serviço definida, os perfis de QoS, o funcionamento do sistema e a comunicação entre agentes. Além disso também são presentes o cenário de testes, os objetivos associados e respetivos resultados.

Por último, no capítulo 5, são apresentadas as conclusões sobre todo o trabalho desenvolvido no âmbito desta dissertação e o trabalho futuro a ser realizado.

# Capítulo 2

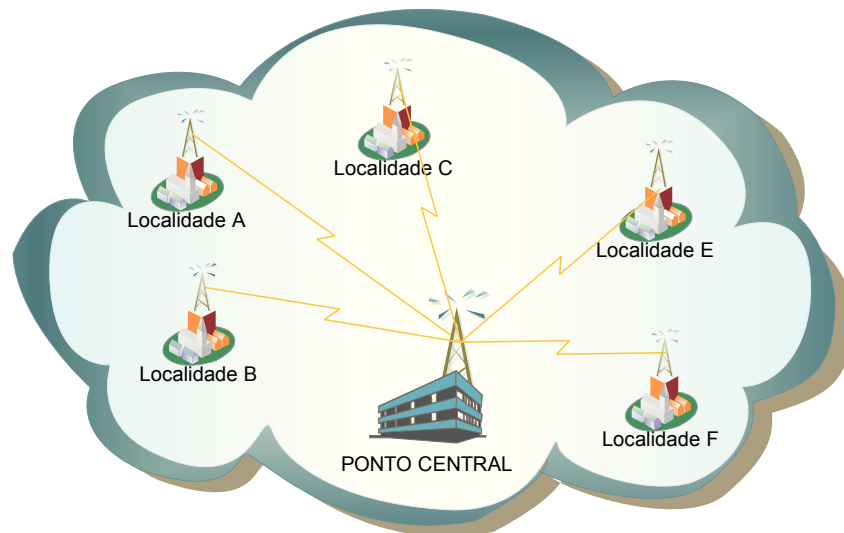
---

## 2 Revisão da literatura

Neste capítulo são apresentadas alguns trabalhos relacionados com a problemática abordada nesta dissertação. Inicialmente serão apresentadas as redes locais sem fios de larga escala, seguido de um breve resumo sobre projetos relevantes na área da configuração dinâmica em redes. São também expostos alguns trabalhos e conceitos sobre configuração dinâmica de qualidade de serviço em redes informáticas.

### 2.1 Redes locais sem fios de larga escala

As redes locais sem fios de larga escala, como o próprio nome sugere, são redes locais sem fios - tecnicamente designadas por IEEE802.11 e mais conhecidas por Wi-Fi [8] - com uma dimensão muito maior e que por norma abrangem grandes áreas geográficas.



**Ilustração 1 - Rede local sem fios de larga escala**

A Ilustração 1 mostra uma rede local sem fios de larga escala, na qual existem várias localidades interligadas entre si ou através de um nó central, configuração essa variável consoante a topologia de cada rede. Ao contrário das redes locais sem fios, que são utilizadas para conectar zonas substancialmente próximas, este tipo de redes interligam localidades bastante distanciadas, podendo haver pontos de ligação com vários quilómetros de distância. Este tipo de redes tem vindo a ser cada vez mais utilizado em zonas rurais, onde o acesso a serviços multimédia, entre os quais a Internet, é muito limitado ou inexistente [9][10].

## **2.2 Configuração dinâmica**

A automatização em redes de comunicação desde cedo que desperta grande interesse por parte dos investigadores agregados à área, fator que se deve ao crescimento exponencial, tanto no tamanho das redes como na área que abrangem e nos serviços associados às mesmas [11][12]. Este facto suscitou a necessidade do estudo de novos conceitos que fossem de encontro à resolução da problemática da autoconfiguração dos equipamentos e otimização das redes de comunicação [13]. Em [14] são enumeradas várias funcionalidades que um sistema autónomo deve ter, nomeadamente ser capaz de se localizar, configurar, recuperar, otimizar e proteger autonomamente.

A investigação realizada neste âmbito, agregada à crescente exigência por parte dos gestores de rede, levou ao aparecimento de diversos estudos relacionadas com esta matéria, nomeadamente a nível de paradigmas a serem adotados na criação de redes sem

rios autoconfiguráveis [15] e das abordagens a ter na disposição dos pontos de acesso na rede [16].

A informação inerente aos processos descritos anteriormente, agregada à necessidade do processamento de grandes quantidades de dados por parte destes equipamentos, levou ao aparecimento do conceito de arquiteturas distribuídas [17], cujo objetivo é descentralizar o tratamento desta informação distribuindo-a por todos os equipamentos presentes na rede. Não só as arquiteturas se tornaram distribuídas, mas também se tornaram compostas por vários agentes independentes, que se organizam entre si para executar as tarefas necessárias [18][19].

A evolução destes sistemas autónomos levou a que os investigadores aplicassem os conhecimentos de outras áreas neste tipo de redes, nomeadamente inteligência artificial, criando assim sistemas baseados em arquiteturas multiagente, cuja função principal é dotar os dispositivos de uma inteligência própria [20][21].

De seguida são apresentados alguns trabalhos que agregam algumas das ideias expostas anteriormente:

#### **Autonomic Wireless Network Management [22]**

Este é um projeto apresentado por uma equipa de investigadores da NEC, onde é descrita uma abordagem autónoma para a gestão do *core* da infraestrutura da rede. São também expostos quais os princípios necessários para se conseguir um sistema autónomo: o sistema deve ser capaz de configurar as suas funções base de acordo com o contexto do seu ambiente sem intervenção humana; deve estar ciente daquilo que necessita de fazer, nomeadamente a nível de configurações e recuperações necessária e deve ser capaz de executar operações autonomamente para se adaptar às necessidades encontradas pelo mesmo. Nesse trabalho também é defendido pelos autores a utilização de uma estrutura distribuída, de modo a suprimir os entraves de um sistema centralizado, nomeadamente um ponto central de falha.

#### **Smart Network Installer and Tester [23]**

O projeto SNIT mostra um sistema de instalação e verificação automática de *software* através da rede. A arquitetura deste sistema é composta por vários agentes que executam diferentes funções, tais como transferência de ficheiros, instalação de

*software*, verificação de estado, entre outros. Os autores defendem que deste modo é conseguido uma distribuição do processamento necessário pelos vários equipamentos, aumentando a produtividade do sistema. A mais-valia desta solução é ser totalmente autónoma e não necessitar da intervenção de administradores para funcionar corretamente.

#### **IDAPS [24]**

Este projeto consiste num sistema inteligente e autónomo desenvolvido para ser utilizado em conjunto com sistemas de energia elétrica. Este utiliza agentes distribuídos que cooperam entre si de forma a otimizar o processamento na infraestrutura, delegando tarefas específicas a cada tipo de agente. Neste sistema são utilizadas arquiteturas de comunicação baseadas em Web, que do ponto de vista dos autores, têm vindo a ser cada vez mais utilizadas em sistemas descentralizados e distribuídos, nomeadamente na Internet.

#### **ANEMA [25]**

Este trabalho apresenta uma proposta para uma arquitetura de gestão da rede autónoma. Nesta arquitetura existem três tipos de políticas: as funções de utilidade, que são os objetivos de alto nível dos administradores; os objetivos, que descrevem as diretivas de gestão de alto nível necessárias para se alcançarem as funções de utilidade, e o comportamento, que descrevem o procedimento que os dispositivos da rede devem seguir para reagir às alterações e conseguirem atingir as políticas de objetivo.

A configuração dinâmica de equipamentos em redes locais sem fios (WLAN) já deu alguns passos, nomeadamente em redes de ambiente casa / pequenos escritórios (SOHO<sup>3</sup>). Esta funcionalidade é utilizada por alguns fabricantes para permitir que equipamentos como computadores, telemóveis ou mesmo *tablets* se liguem à rede sem fios de uma forma fácil. Desta forma é extremamente simples conseguir aceder a uma rede protegida com poucos conhecimentos, ou mesmo nenhuns, de redes sem fios.

O *Wi-Fi Protected Setup* (WPS) [26] providencia um mecanismo de configuração de redes SOHO. Este permite que utilizadores com poucos conhecimentos em

---

<sup>3</sup> do inglês Small Office / Home Office

configuração de redes sem fios consigam adicionar novos equipamentos à rede de forma segura.

Os produtos com WPS fornecem dois tipos de configuração - Através de um *Personal Identification Number* (PIN) ou através de um *Push Button Configuration* (PBC). Os pontos de acesso fornecem os dois tipos de autenticação e os dispositivos cliente têm que ter pelo menos a configuração por PIN.

No mecanismo de PIN o utilizador introduz o PIN do ponto de acesso no dispositivo cliente, e a ligação é efetuada. No caso do PBC, o utilizador carrega num botão no ponto de acesso e a ligação é efetuada entre os dois.

O *AirStation One-Touch Secure System* (AOSS) [27] funciona de maneira similar ao WPS mas apenas fornece o mecanismo de PBC. Este sistema foi desenvolvido pela Buffalo Technology e está presente em quase todos os seus equipamentos de redes sem fios SOHO.

As redes de sensores sem fios (WSN<sup>4</sup>) têm vindo a ser cada vez mais utilizadas, principalmente porque o custo e tamanho dos nós sensoriais têm vindo a decrescer. Este tipo de redes é composto por nós sensoriais autónomos, distribuídos por uma área específica e cujo objetivo é monitorizar características físicas do ambiente, tal como temperatura, humidade ou pressão, e são bastante utilizadas na área militar e na medicina. O grande desafio existe na configuração de milhares de nós sensoriais sem a intervenção humana, de forma a estes se conseguirem organizar entre si e criar uma rede funcional para transmissão de dados. Caso isso não aconteça não há comunicação entre os sensores e a rede não funciona. Em [28] é apresentado o protocolo de autoconfiguração intitulado de ASCENT. Este protocolo adiciona aos nós sensoriais a capacidade de se autoconfigurarem e de criarem uma topologia que os permita comunicar entre si. O algoritmo PCSSN exposto em [29] define de que forma se devem auto organizar os nós sensoriais em redes de sensores sem fios. Este algoritmo é composto por duas fases, a descoberta da topologia, onde são feitas a descoberta de novos nós na rede e a configuração das ligações, e a fase de manutenção, na qual são testadas periodicamente todas as ligações com os nós vizinhos para confirmar que estes se encontram ligados e a comunicar.

---

<sup>4</sup> do inglês Wireless Sensor Network

O dinamismo em qualidade de serviço já foi alvo de diversos estudos, os quais levaram ao aparecimento de técnicas de escalabilidade, adaptação e reconfiguração de QoS. Em [30] é apresentada uma abordagem utilizada em redes de larga escala que particiona a rede agrupando os dispositivos por zonas, o que permite uma redução no esforço computacional e possibilita a escalabilidade da rede sem afetar o seu funcionamento.

Uma das preocupações a ter quando se implementa qualidade de serviço numa infraestrutura é a de verificar de que forma esta afeta o próprio desempenho rede. Isto porque ao efetuar QoS ao tráfego da infraestrutura aumenta-se o nível de processamento dos equipamentos da mesma e caso estes não consigam efetuar o seu trabalho eficientemente, o desempenho na rede em vez de aumentar diminui [31].

Ao utilizar mecanismos de qualidade de serviço reconfiguráveis é necessário ter em conta as possíveis alterações dos fluxos de dados e de que forma estes afetam a rede, sendo necessário para tal efetuar testes de desempenho para garantir que estes não são afetados durante a reconfiguração do QoS [32].

É apresentada em [33] uma *framework* que permite verificar o desempenho de sistemas de reconfiguração em tempo real, a qual permite avaliar até que ponto o sistema de gestão de qualidade de serviço está a funcionar eficientemente.

Os possíveis problemas inerentes a uma reconfiguração de QoS nos sistemas em funcionamento são também explicados em [34], onde são apresentados vários testes que comprovam que é possível efetuar mudanças súbitas nas políticas de QoS sem provocar um impacto real na própria qualidade de serviço.

## **2.3 Síntese**

Neste capítulo foram apresentados um conjunto de trabalhos relacionados com o âmbito desta dissertação, os quais abordam as temáticas das redes sem fios de larga escala, da automatização em redes informáticas e da configuração dinâmica de qualidade de serviço. Foram abordados alguns mecanismos que permitem a auto configuração de equipamentos e que já se encontram em utilização, apesar de ser noutro tipo de ambientes.

Foi também salientado que ao implementar incorretamente qualidade de serviço numa rede, esta poderá ter um desempenho pior do que aquele que teria se não tivesse

políticas de QoS. Para tal é necessário efetuar testes ao sistema para garantir que este funciona corretamente.

A reconfiguração de QoS em tempo real também foi abordada e verificou-se que esta pode ser implementada sem provocar instabilidade na rede.



# Capítulo 3

---

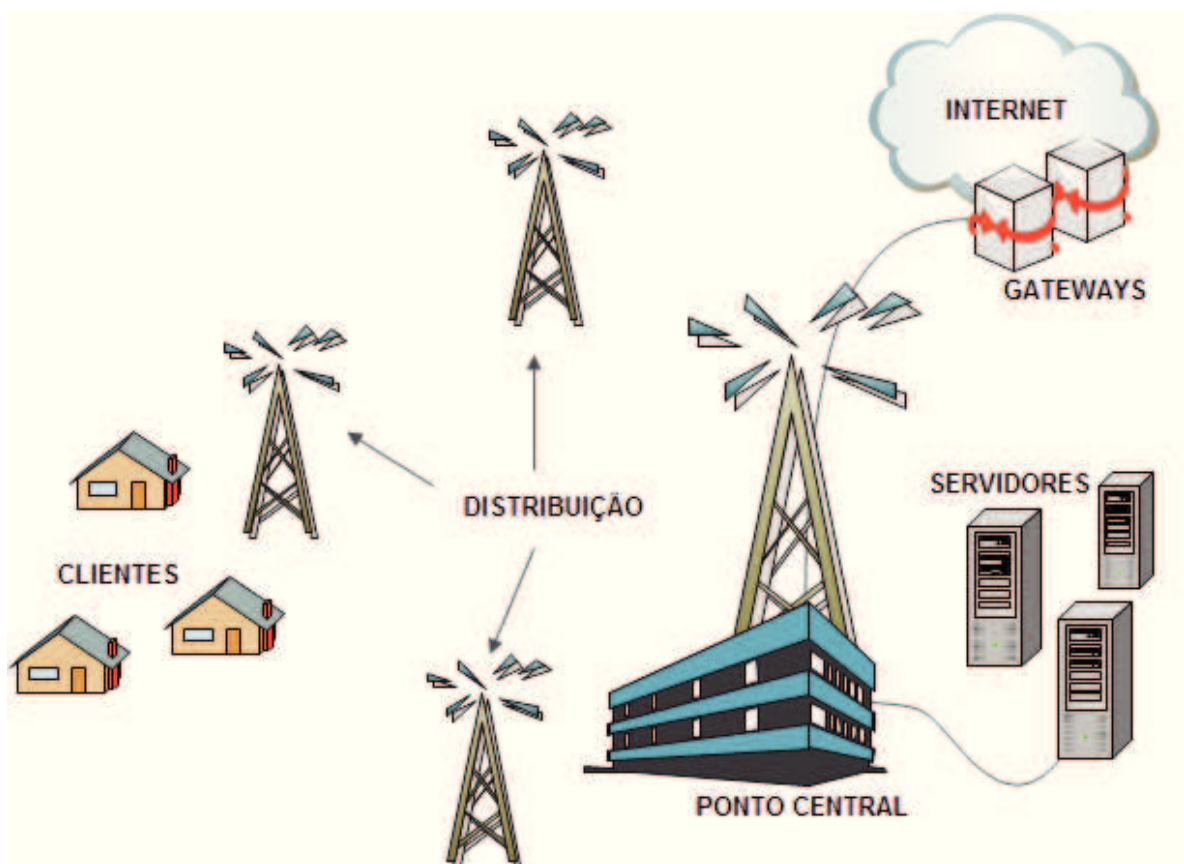
## 3 Configuração dinâmica

Neste capítulo é apresentada uma solução cujo intuito é o de permitir uma configuração dinâmica de equipamentos numa rede local sem fios de larga escala, denominada de *Dynamic Wireless Configuration System* (DWCS). Inicialmente é apresentada a arquitetura do sistema, caracterizando os diferentes agentes envolvidos. De seguida é demonstrado funcionamento do sistema, o algoritmo utilizado, o modo de comunicação entre os agentes e os pontos-chave do mesmo. Por último são expostos os testes efetuados e respetivos resultados.

### 3.1 Arquitetura definida

A infraestrutura de uma rede local sem fios de larga escala, como se pode ver na Ilustração 2, é composta, nomeadamente, por clientes, pontos de distribuição, servidores

e *gateways*. Os clientes são os equipamentos instalados na casa dos utilizadores finais, como o próprio nome indica. Os pontos de distribuição são os equipamentos distribuídos pela área a abranger, estão interligados entre si através de ligações sem fios e fornecem um ponto de ligação aos clientes. Os servidores são os equipamentos que fornecem os mais variados serviços aos utilizadores da rede e encontram-se normalmente localizados no ponto central da mesma. Os *gateways* são os equipamentos responsáveis por interligar a rede interna ao mundo exterior, fornecendo o acesso à Internet aos utilizadores da rede.



**Ilustração 2 - Infraestrutura da rede**

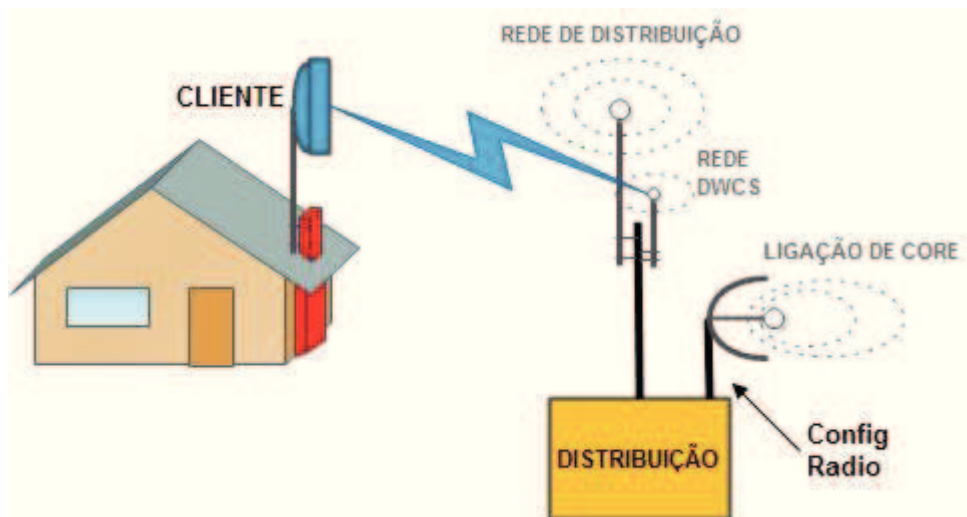
Para esta solução foi implementada uma arquitetura distribuída e multiagente, que desta forma permite subdividir as tarefas pelos vários equipamentos na rede, os quais têm incorporado um agente que se encarrega de cumprir essas mesmas tarefas. Estes agentes podem ter várias funções, consoante a sua finalidade.

Um agente é uma entidade baseada em *software* que, neste caso, consegue aceder às informações do equipamento onde se encontra, efetuando as operações necessárias no mesmo. Estes agentes interligam-se entre si para fornecer uma solução distribuída,



Os equipamentos podem iniciar em dois modos de operação: no modo de configuração o equipamento inicia num estado em que tenta adquirir as suas configurações de rede; no modo *standard* o equipamento inicia normalmente já com as configurações obtidas no modo de configuração.

O agente Cliente liga-se ao agente Distribuição para poder estabelecer comunicação com o agente Servidor.

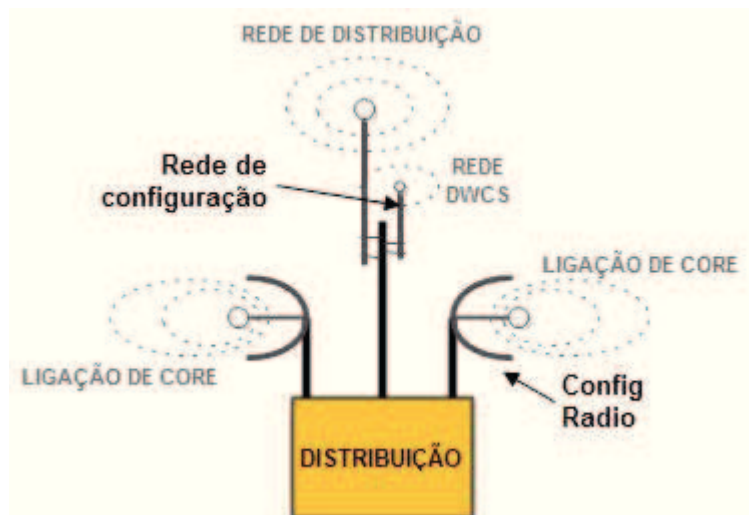


**Ilustração 4 – Agente Cliente**

O agente Distribuição está presente nos dispositivos de *core* e tem o objetivo de permitir a comunicação entre os vários dispositivos (clientes, *core* e servidores) para que estes se consigam configurar dinamicamente.

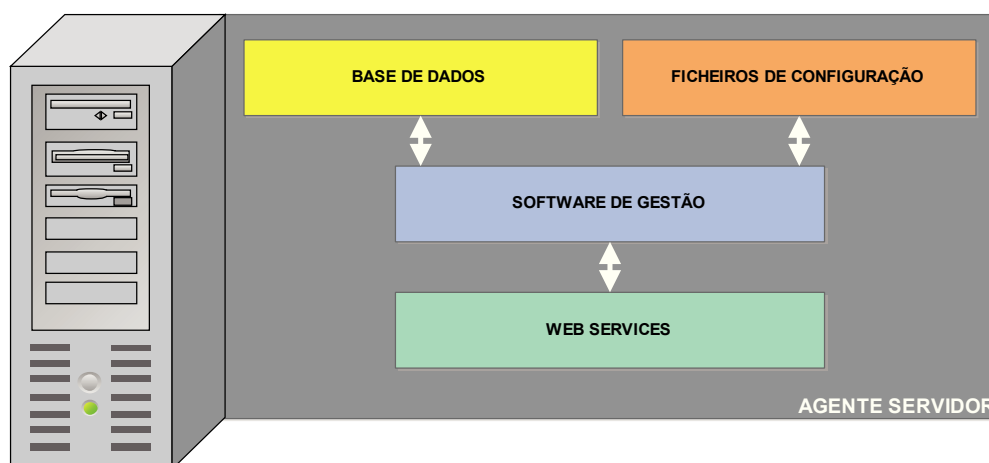
Nestes equipamentos existem várias redes definidas - desde ligações ponto-a-ponto a redes de distribuição - em que se destaca a rede de configuração DWCS, à qual todos os equipamentos, que estejam em modo configuração, se ligam. Desta forma estes conseguem adquirir as suas configurações dinamicamente, sem ser necessária qualquer intervenção dos administradores de rede.

O agente Distribuição é a ponte de ligação entre o agente Cliente e o agente Servidor, exemplificado na Ilustração 5.



**Ilustração 5 – Agente Distribuição**

O agente Servidor, responsável por manter a funcionalidade da rede, guardar toda a informação inerente à configuração e permitir a gestão do sistema por parte do administrador, agrega também uma componente de *web services* - explicado com melhor detalhe mais à frente - como constatado na Ilustração 6. Esta componente disponibiliza as configurações necessárias aos outros agentes presentes na infraestrutura, possibilitando deste modo a sua configuração.



**Ilustração 6 - Agente Servidor**

O DWCS interage diretamente com o sistema de monitorização da rede, como se pode ver na Ilustração 7. Esta interação permite que os equipamentos sejam automaticamente adicionados ao sistema de monitorização sem ser necessária qualquer intervenção por parte do administrador da rede. Isso torna possível também que o DWCS consiga obter dados do estado dos equipamentos da rede diretamente do sistema de monitorização.

Desta forma consegue-se gerir o sistema de monitorização da rede através do servidor de DWCS, através da respetiva plataforma de gestão, evitando a redundância de operações por parte do administrador.



Ilustração 7 - Comunicação entre sistemas

### 3.1.2 Rede de configuração

Um dos pontos fulcrais neste sistema é a rede de configuração. É através desta rede que os dispositivos conseguem estabelecer comunicação com o servidor e adquirir as suas configurações. Sem esta rede de configuração não é possível configurar e recuperar os equipamentos automaticamente, porque de outra forma estes não teriam qualquer meio para poder comunicar com o servidor central.

Uma das maiores preocupações encontradas é a segurança do sistema, visto querer-se evitar ao máximo falhas na mesma. No sentido de solucionar esta problemática, a rede encontra-se protegida com encriptação *Wi-Fi Protected Access II* (WPA2) [35] utilizando *passwords* com 128 bits, garantindo assim que apenas os equipamentos que possuam o sistema DWCS conseguem aceder à mesma.

Para uma proteção superior são também utilizadas as respetivas *firewalls* nos equipamentos de distribuição, devidamente configuradas, para que a rede de configuração apenas permita tráfego de configuração na mesma, nomeadamente acesso exclusivamente ao servidor de DWCS.

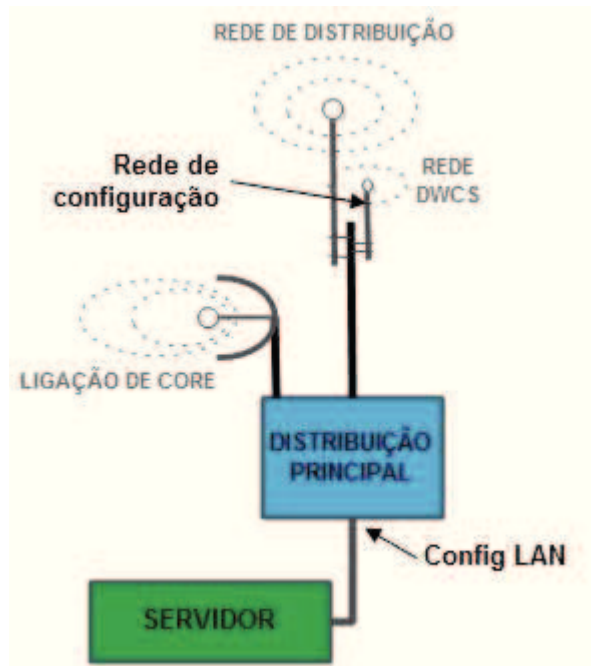
A rede de configuração pode ser criada de duas formas: através de um rádio Wi-Fi adicional - sendo uma rede independente - ou através da configuração de um Ponto de Acesso Virtual (Virtual AP). Os “Virtual AP” podem ser criados utilizando para tal um rádio que esteja a desempenhar funções de ponto de acesso. Neste caso, visto que todos os nós do *core* da rede contêm uma rede de distribuição - para os clientes se ligarem - esta poderá ser utilizada para esse mesmo efeito.

### **3.1.3 Funcionamento do sistema**

Para que seja possível implementar o sistema DWCS, o agente Distribuição tem de disponibilizar a rede de configuração para que os clientes e outros nós secundários possam efetuar a sua configuração dinamicamente.

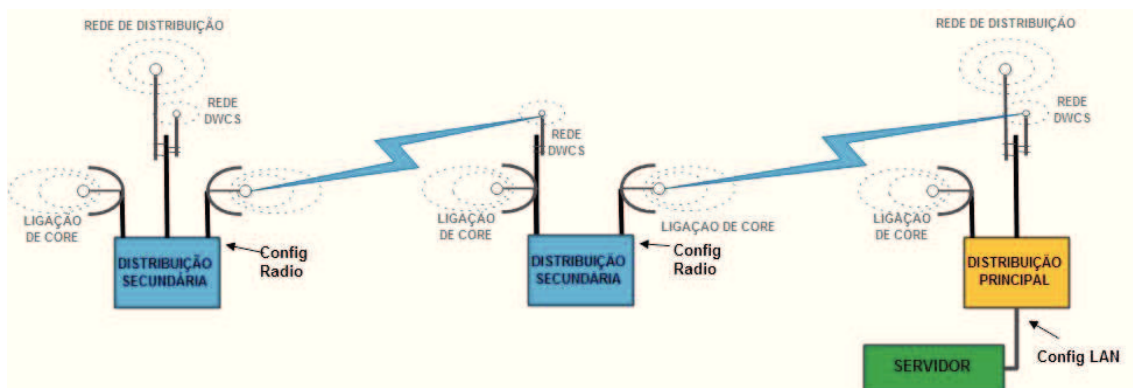
Esta rede é disponibilizada pelo agente Distribuição presente nos equipamentos de *core*, podendo ser uma rede real ou virtualizada. É neste *core* que são encontrados dois tipos de nós, o principal, que é o ponto central da rede que está ligado aos servidores e ao *gateway*, e os secundários, que são todos os outros. No primeiro temos a Distribuição Principal (DP), apresentada na Ilustração 8, que é o nó central da rede. Este encontra-se ligado diretamente, através da rede cablada, à rede do servidor de DWCS. Neste nó o dispositivo utiliza a “Config LAN” para se ligar ao servidor e adquirir automaticamente as suas configurações - isto quando se encontra em modo de configuração.

A “Config LAN” é a porta de rede da Distribuição Principal que está diretamente ligada à rede do servidor de DWCS. Desta forma o agente distribuição consegue aceder ao servidor para adquirir as configurações do equipamento.



**Ilustração 8 - Distribuição Principal**

No segundo tipo temos as Distribuições Secundárias (DS) - exemplificadas na Ilustração 9 - que são aquelas que estão distribuídas, geograficamente, pela área englobada pela rede de larga escala. De salientar que este tipo de nós pode não ter rede de distribuição associado, visto existirem pontos na rede que podem servir apenas como ponte entre várias localidades, isto devido à falta de linha de vista entre os nós ou distâncias excessivas.

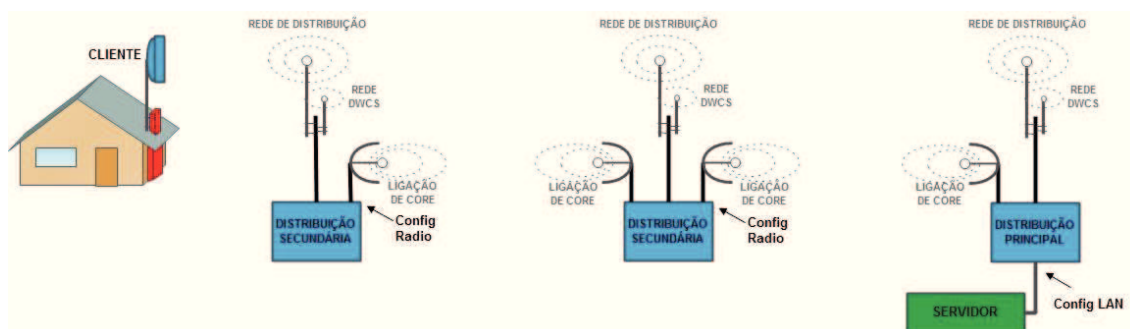


**Ilustração 9 - Distribuição Secundária**

Este nó, quando em modo de configuração, utiliza o “Config Radio” para se ligar à rede de configuração mais próxima. O “Config Radio” é o primeiro rádio disponível no equipamento e é aquele que está direcionado para o nó mais próximo do servidor. Isto é

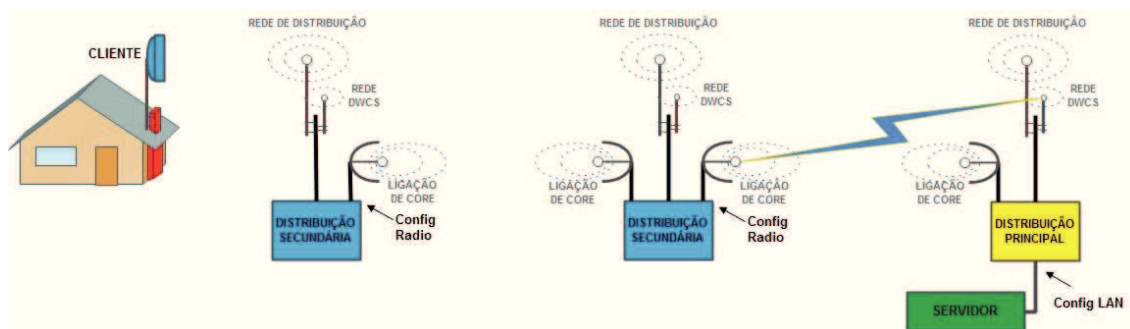
necessário pelo facto de um nó poder ter vários rádios, o que não pode ser um fator que impeça o sistema de funcionar corretamente.

O funcionamento do sistema de DWCS é um conjunto de processos simples, o que o torna eficaz. Numa fase inicial todos os equipamentos na rede - *core* e clientes - encontram-se em modo de configuração (Ilustração 10). O agente presente na Distribuição Principal, que está ligada diretamente à rede do servidor de DWCS através da “Config LAN”, acede ao servidor, descarrega os ficheiros de configuração, aplica-os e reinicia o equipamento.



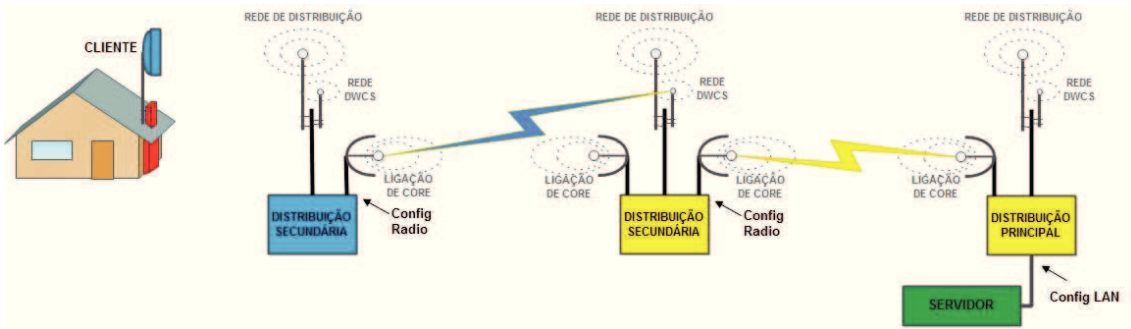
**Ilustração 10 - Processo de configuração (1)**

Após a DP reiniciar, esta encontra-se configurada e pronta a fornecer, aos outros nós, acesso ao servidor de DWCS. Uma Distribuição Secundária liga-se à rede de DWCS da DP, através do “Config Radio”, e configura-se automaticamente (Ilustração 11).



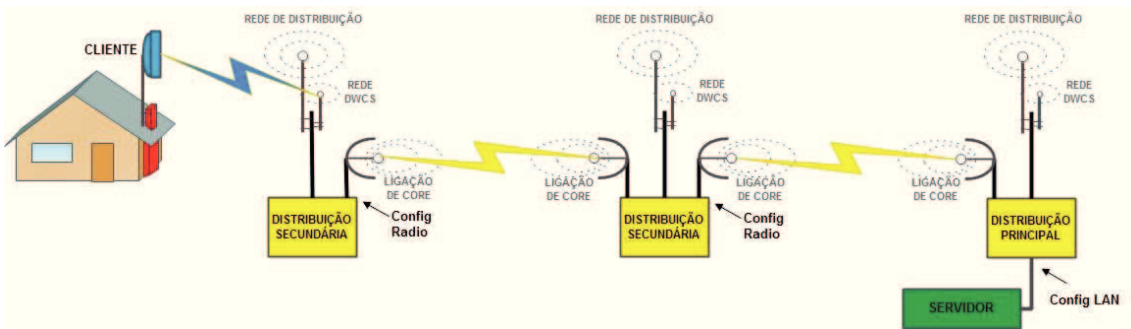
**Ilustração 11 - Processo de configuração (2)**

De seguida uma segunda DS liga-se ao próximo nó, presente no caminho de acesso ao servidor, através da rede DWCS deste e adquire as suas configurações para poder iniciar normalmente (Ilustração 12).



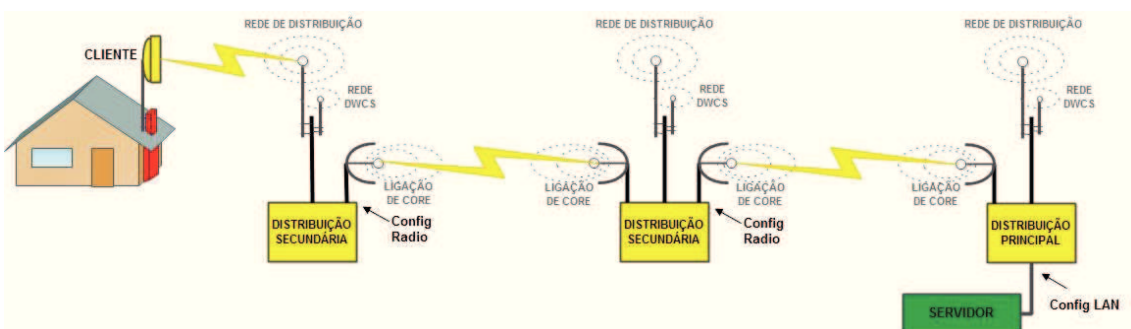
**Ilustração 12 - Processo de configuração (3)**

Neste ponto já todo o *core* da rede se encontra configurado e os equipamentos cliente começam a ligar-se ao sistema de DWCS do mesmo para que os seus agentes comecem a adquirir as configurações dos equipamentos (Ilustração 13).



**Ilustração 13 - Processo de configuração (4)**

No final destes processos toda a rede se encontra configurada dinamicamente sem ser necessária a intervenção do administrador da mesma (Ilustração 14).



**Ilustração 14 - Processo de configuração (5)**

### 3.1.4 Algoritmo

De forma a se conseguir elaborar um sistema de configuração dinâmica genérico, elaborou-se um algoritmo de configuração que pode ser utilizado nos vários agentes. A ilustração seguinte (Ilustração 15) apresenta esse mesmo algoritmo.

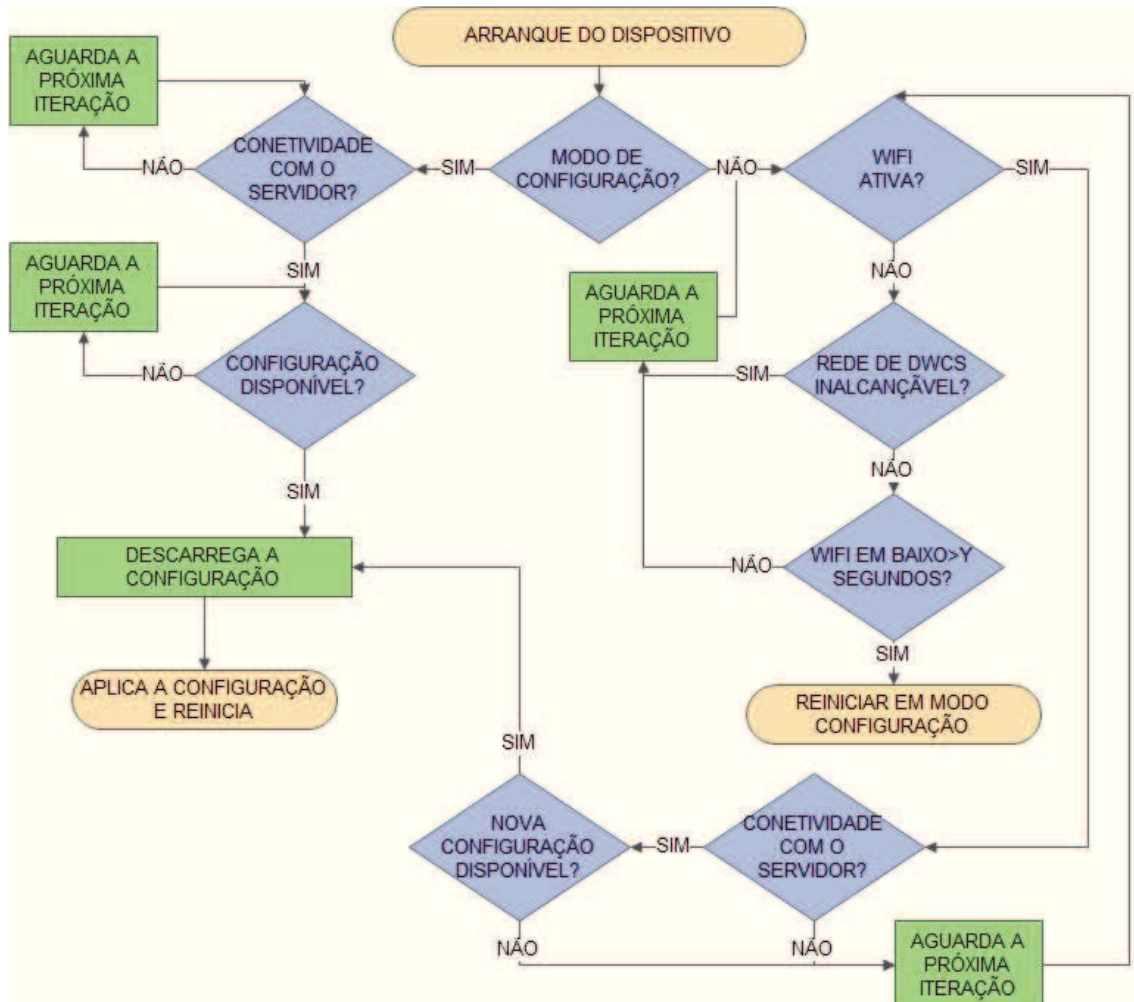


Ilustração 15 - Algoritmo de configuração

O equipamento ao iniciar verifica se arrancou em modo configuração ou não.

Em caso positivo, o dispositivo verifica se tem conectividade ao servidor de DWCS e se tem alguma configuração disponível no mesmo. Se tiver este é descarregado, aplicado e o dispositivo reinicia configurado. Se não tiver conectividade ou não houver configuração disponível, o sistema aguarda pela próxima iteração - estas iterações acontecem periodicamente, consoante o tempo pré-definido pelo administrador, isto para não aumentar o processamento dos equipamentos desnecessariamente. Caso não esteja, o equipamento verifica o sinal *wireless*, se estiver inativo este verifica se a rede

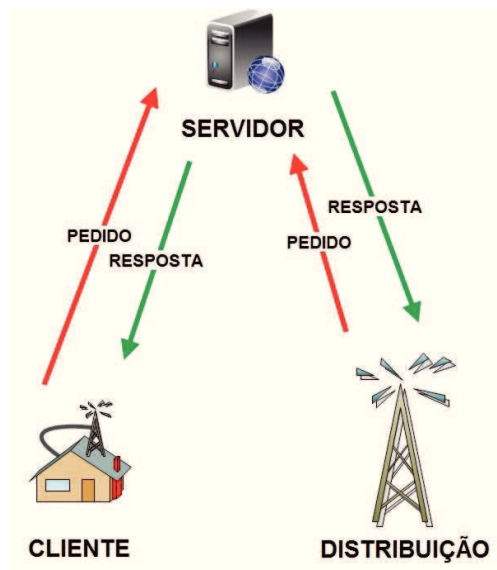
de configuração está alcançável pelo sistema - isto para garantir que não foi o equipamento que foi desconectado ou desligado. Se estiver alcançável o dispositivo aguarda pela próxima iteração até voltar a fazer nova verificação. Se não estiver alcançável, o equipamento verifica há quanto tempo a ligação sem fios está desligada, se for há mais tempo que o pré-definido o dispositivo reinicia em modo configuração - visto poder haver algum problema com a ligação que foi obtida do servidor - senão aguarda até fazer nova verificação da conectividade. Caso esteja, o equipamento verifica a ligação ao servidor e questiona o mesmo se este tem novas configurações - caso não haja resposta ou novas configurações o dispositivo aguarda até fazer nova verificação. Ao obter novas configurações o equipamento aplica-as e reinicia.

Este algoritmo, na forma como foi idealizado, permite ser adaptado para os diferentes equipamentos, de fabricantes diferentes, que se possam utilizar na rede. Desta forma conseguem-se obter resultados semelhantes em plataformas diferentes.

### **3.1.5 Comunicação no DWCS**

A comunicação entre os vários agentes definidos na arquitetura tem que seguir um conjunto de regras pré-definidas, as quais salientam qual o protocolo a utilizar e qual o servidor a implementar. Como o objetivo dos agentes presentes nos equipamentos é pedir configurações a um servidor, o protocolo de comunicação escolhido para esta solução é o *HyperText Transfer Protocol* (HTTP) [36] que é o mais utilizado em sistemas cliente-servidor na Internet e em outros tipos de redes.

O agente Servidor proporciona um *Web Service RESTful* [37], o qual permite transmitir dados por HTTP para os outros agentes presentes na infraestrutura. Na Ilustração 16 podemos ver de que forma ocorre a comunicação entre o agente Servidor e os restantes agentes.



**Ilustração 16 - Comunicação no DWCS**

Utilizado nesta comunicação está o modelo cliente-servidor, o qual é atualmente o mais utilizado em sistemas informáticos distribuídos [38]. Como se pode constatar a comunicação é iniciada pelos agentes Cliente ou Distribuição e estes efetuam pedidos ao agente Servidor, recebendo uma resposta por parte deste. Estes pedidos podem ser de configuração, atualização ou consulta, tudo depende do modo de operação em que o equipamento se encontra e do estado do mesmo.

### **3.1.6 Pontos-chave do sistema**

Uma das maiores vantagens deste sistema é o facto de este permitir que um novo equipamento seja instalado na rede sem ser necessário configurar o mesmo *onsite*, ou seja, basta instalar o dispositivo, apontar para um ponto de distribuição e o mesmo configura-se dinamicamente. Este simples aspeto reduz bastante os custos associados à instalação e manutenção de qualquer rede sem fios de larga escala e permite uma administração mais fácil. É de salientar que esta é uma rede distribuída por uma grande área geográfica e por isso o acesso a cada um dos nós pode ser bastante difícil fisicamente. Estes equipamentos têm que estar a uma altura considerável para que possa existir linha de vista entre os mesmos, o que por vezes, implica que os equipamentos estejam situados nos telhados das casas, ou em postes.

Outra das vantagens do DWCS é este permitir a recuperação de equipamentos mal configurados, ou seja, caso exista algum problema de configuração nos dispositivos, estes reconfiguram-se, fator que minimiza o impacto causado por qualquer erro

cometido aquando da configuração manual realizada pelo administrador ao equipamento. Esta funcionalidade mune a infraestrutura com um mecanismo de recuperação de falhas que não só evita a deslocação das equipas especializadas ao local, como minimiza os custos associados e o tempo de resolução do problema. Este fator é preponderante para garantir uma disponibilidade de serviço constante.

## 3.2 Testes e resultados

Nesta secção são descritos pormenorizadamente todos os testes que foram efetuados ao sistema DWCS, tal como testes de configuração e recuperação do equipamento. Também aqui são apresentados os resultados de todos os testes efetuados.

### 3.2.1 Cenário de testes

Para efetuar todos os testes necessários implementou-se um pequeno cenário laboratorial composto por uma DP, uma DS e um cliente, o qual é apresentado na Ilustração 17.

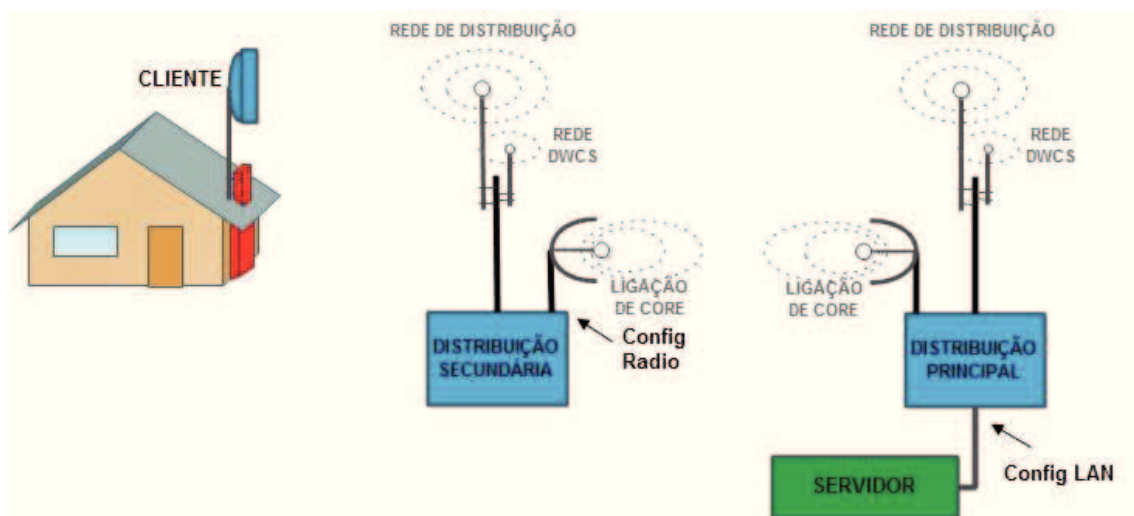
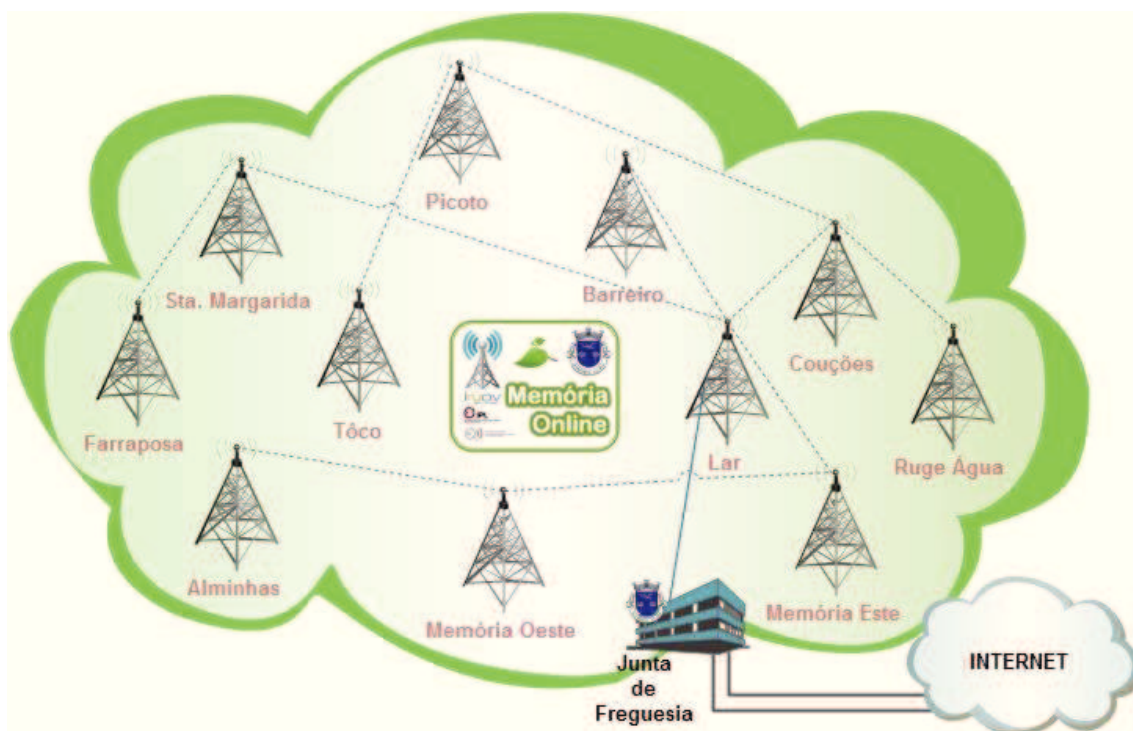


Ilustração 17 – Cenário de testes

Este cenário é a réplica, em parte, de um ramo de uma rede local sem fios de larga escala existente, a rede Memória Online, que é uma rede presente na freguesia da Memória. Esta rede está localizada numa região rural composta por montes e vales no distrito de Leiria em Portugal.

A rede Memória Online, presente na Ilustração 18, conta com mais de 80 clientes ligados, os quais se encontram ligados à infraestrutura através de uma ligação sem fios

de 150Mbps. O *core* da rede composto pelos pontos de distribuição, também eles interligados entre si através de rede sem fios, têm velocidades de até 300Mbps. O ponto central da rede encontra-se na junta de freguesia, na qual está localizado o acesso à Internet.



**Ilustração 18 - Rede Memória Online**

A ligação à Internet da rede é composta por duas ligações *Asymmetric Digital Subscriber Line* (ADSL) com 8Mbps de *download* e 640Kbps de *upload*. Estas duas ligações são necessárias, pois o fornecedor do serviço não dispõe de ligações com débitos maiores. Para tal foi necessário contratualizar dois circuitos e efetuar balanceamento de carga, de modo a obter no geral, o somatório dos débitos fornecidos. Após a monitorização de cada circuito verificou-se que as velocidades reais em cada uma das ligações eram apenas de 6Mbps de *download* e de 640Kbps de *upload*. Isto reflete a realidade que se encontra nas zonas rurais, onde não só os acessos à Internet têm velocidades muito abaixo daquelas encontrados nos centros urbanos, mas também, na maior parte dos casos, estes não fornecem as velocidades contratualizadas.

Outra das características encontradas nesta rede é o facto de os equipamentos utilizados funcionarem com base no sistema OpenWRT [39], um *firmware* baseado em Linux muito utilizado em dispositivos de rede. Devido a este sistema ser *open-source* torna-se

uma vantagem para este projeto, sendo possível alterar o *software* dos equipamentos para os tornar autónomos e inteligentes - o que normalmente não seria possível de efetuar em equipamentos com *firmware* proprietário.

As características da rede Memória Online encaixam nas mais-valias que o sistema DWCS fornece, tornando-a num cenário de testes real ótimo.

### **3.2.2 Objetivo dos testes**

Os testes tiveram como objetivo verificar o bom funcionamento e detetar possíveis falhas que existissem. Para tal dividiram-se os testes em seis grupos:

- Testes de instalação;
- Testes de configuração;
- Testes de recuperação;
- Testes de convergência da rede;
- Testes da plataforma de configuração;
- Testes em cenário real.

### **3.2.3 Testes de instalação**

Os testes de instalação foram feitos para observar o tempo necessário para que os equipamentos estejam devidamente instalados na rede. Na Tabela 1 temos as três etapas percorridas pelos dispositivos:

- Arranque do dispositivo, que ilustra o tempo que o equipamento demora a iniciar;
- Obtenção da configuração, que mostra o tempo que o equipamento demora a obter a sua configuração;
- Equipamento configurado, que indica o tempo necessário para o dispositivo estrar completamente configurado e funcional.

**Tabela 1 - Tempos médios na instalação**

	<b>Cliente</b>	<b>Distribuição</b>
<b>Arranque do dispositivo</b>	52 segundos	50 segundos
<b>Nova configuração</b>	104 segundos	120 segundos
<b>Dispositivo instalado</b>	158 segundos	171 segundos

Tendo em conta o tempo necessário para uma configuração manual de um equipamento deste tipo, os resultados obtidos durante estes testes comprovam que este sistema agiliza o processo de instalação de dispositivos na rede.

#### **3.2.4 Testes de configuração**

Os testes de configuração foram feitos para observar o tempo necessário para que os equipamentos se reconfigurem com novas configurações disponíveis no servidor. Na Tabela 2 temos as duas etapas percorridas pelos dispositivos:

- Obtenção de nova configuração, que ilustra o tempo necessário para o equipamento obter a nova configuração;
- Equipamento configurado, que mostra o tempo necessário para o dispositivo estar novamente pronto a funcionar.

**Tabela 2 - Tempos médios na reconfiguração**

	<b>Cliente</b>	<b>Distribuição</b>
<b>Nova configuração</b>	12 segundos	38 segundos
<b>Dispositivo configurado</b>	49 segundos	83 segundos

Sendo que o processo de atualização dos equipamentos numa rede é moroso, nos resultados obtidos durante estes testes visualiza-se uma vantagem clara do sistema proposto a propagar uma atualização de configuração pela rede.

### 3.2.5 Testes de recuperação

Os testes de recuperação foram efetuados para observar quanto tempo é necessário a partir do momento em que o equipamento tem configurações erradas, ou quando existe um erro na configuração existente no servidor. Na Tabela 3 temos as etapas percorridas pelos dispositivos:

- Configuração inválida, que mostra o tempo que o dispositivo demora até se aperceber que existe algum problema com a sua configuração;
- Arrancar em modo configuração, que ilustra o tempo que o dispositivo demora até iniciar em modo de configuração para adquirir novas configurações;
- Obtenção de nova configuração, que indica o tempo necessário para o dispositivo adquirir as novas configurações após a falha;
- Equipamento configurado, que mostra o tempo necessário para o dispositivo voltar a estar operacional após ter detetado uma falha na configuração.

**Tabela 3 - Tempos médios na recuperação**

	<b>Cliente</b>	<b>Distribuição</b>
<b>Configuração inválida</b>	25 segundos	26 segundos
<b>Iniciar em modo de configuração</b>	143 segundos	232 segundos
<b>Nova configuração</b>	160 segundos	262 segundos
<b>Dispositivo configurado</b>	209 segundos	295 segundos

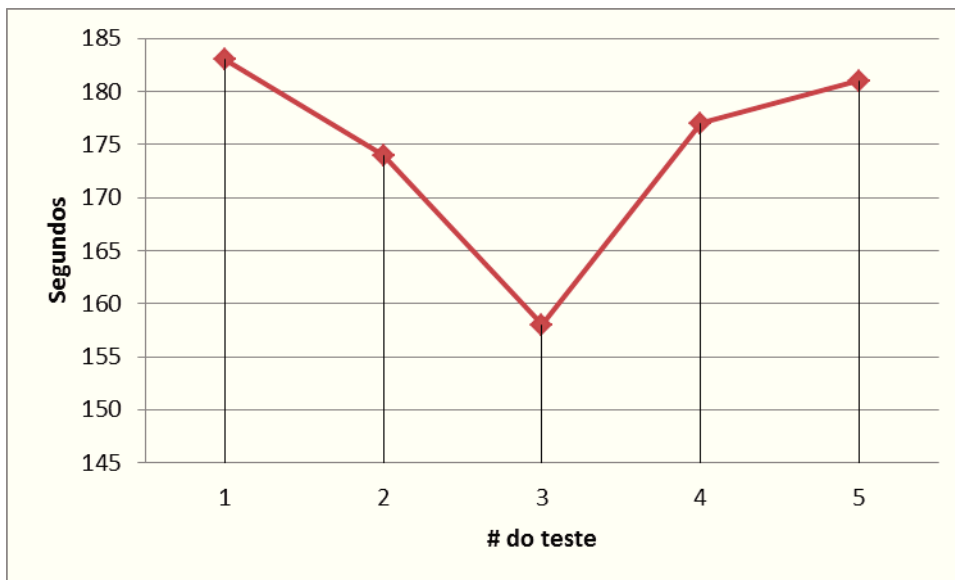
Os resultados obtidos validam o objetivo deste projeto de proporcionar um sistema munido de ferramentas de recuperação de erros automatizada, eliminando a necessidade de intervenções técnicas, que por vezes podem ser demasiado morosas e dispendiosas.

### 3.2.6 Testes de convergência da rede

Os testes de convergência da rede foram efetuados para obter quanto tempo é necessário para que toda a rede se configure dinamicamente através do sistema de DWCS. Para tal foram efetuados cinco testes de convergência total da rede, que consistiram em iniciar

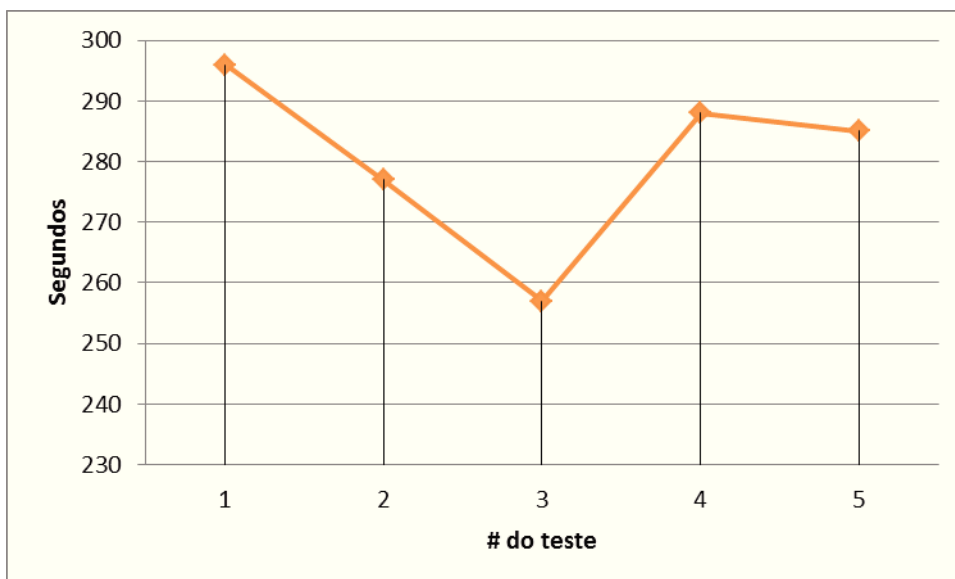
todos os equipamentos presentes na rede sem qualquer tipo de configuração - simulando uma nova instalação de rede - e verificar o tempo necessário para esta ter todos os dispositivos configurados e estar totalmente funcional.

Como podemos ver na ilustração que se segue (Ilustração 19) a Distribuição Principal demorou em média 175 segundos até estar operacional.



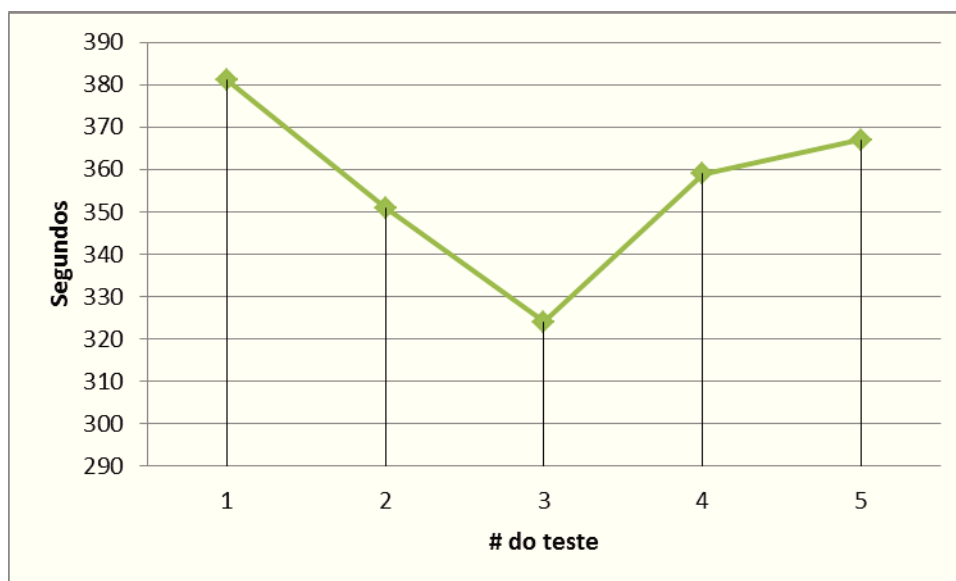
**Ilustração 19 - Tempos de configuração da DP**

A Distribuição Secundária demorou em média 281 segundos até estar operacional - desde o arranque dos equipamentos - que se pode observar na Ilustração 20.



**Ilustração 20 - Tempos de configuração da DS**

Finalmente a rede ficou completamente configurada e pronta a funcionar após uma média de 356 segundos, observável na Ilustração 21.



**Ilustração 21 - Tempos de configuração do Cliente**

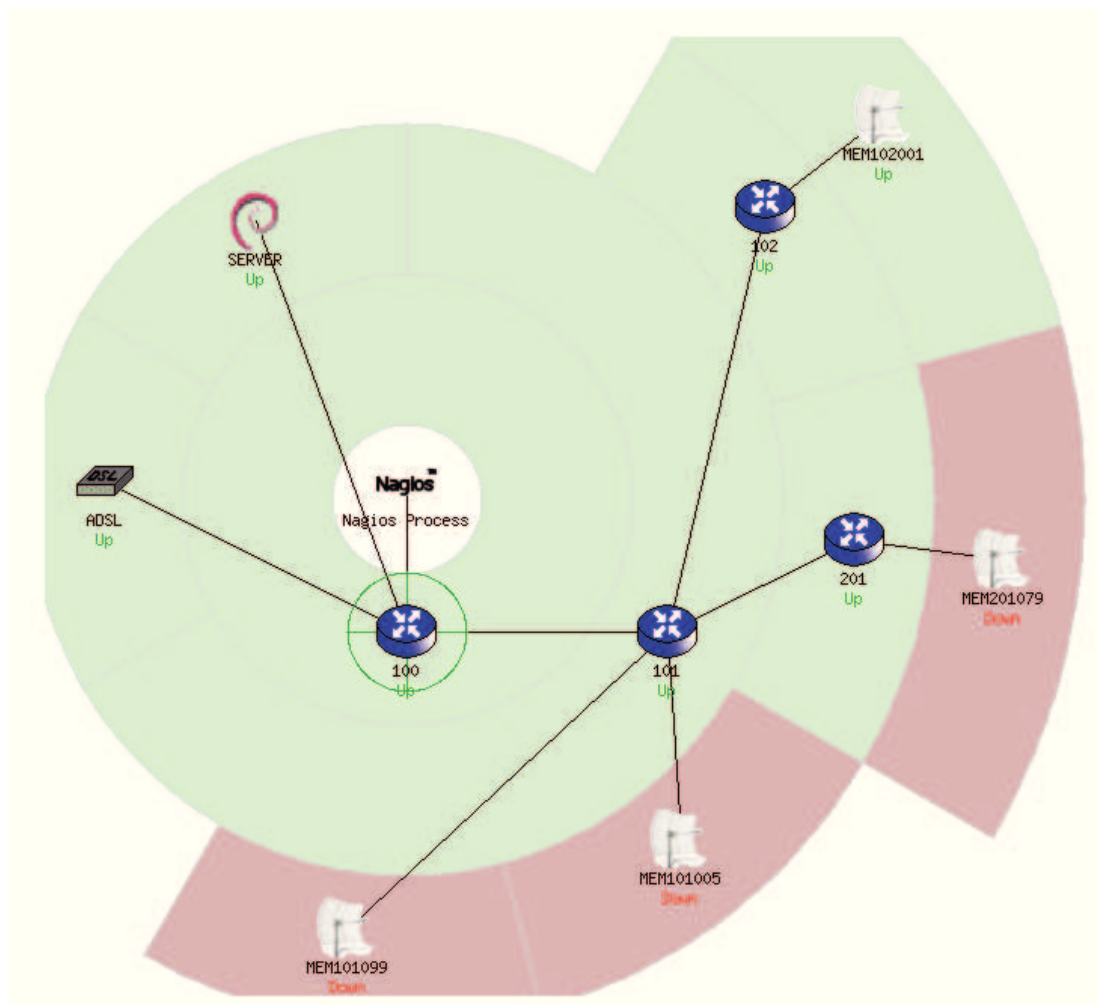
Os gráficos apresentados nas figuras anteriores, demonstram uma notória redução no tempo de autoconfiguração dos equipamentos aquando da instalação de uma infraestrutura deste tipo. Este fator é uma mais-valia num projeto deste âmbito, na medida em que minimiza consideravelmente o tempo de instalação e os custos inerentes à implementação de uma rede local sem fios de larga escala.

### **3.2.7 Testes da plataforma de configuração**

Os testes da plataforma de configuração tiveram como objetivo verificar o bom funcionamento e integração da mesma com os diferentes sistemas presentes na rede, nomeadamente com o sistema de gestão e monitorização da rede.

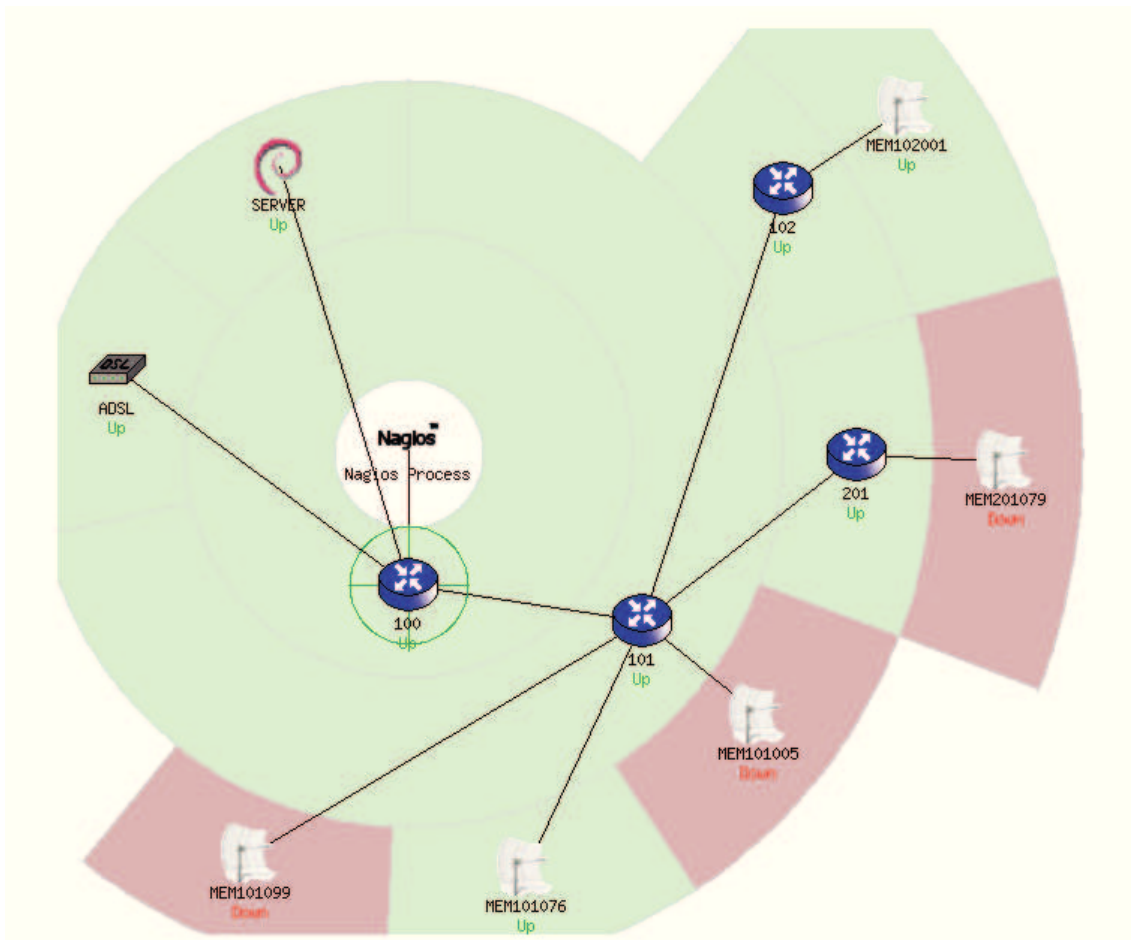
Para tal adicionaram-se equipamentos utilizando a plataforma de configuração, verificou-se se os mesmos eram adicionados com sucesso ao sistema de monitorização - neste caso o Nagios [40] - e se conseguiam adquirir devidamente as suas configurações.

Na Ilustração 22 temos o mapa do sistema de monitorização que nos mostra que equipamentos estão presentes na rede e se estes estão alcançáveis ou não. Neste cenário temos quatro pontos de distribuição e quatro clientes, estando três deles desligados.



**Ilustração 22 - Mapa da rede**

Neste teste em específico testou-se se aquando a introdução de um novo equipamento na rede este era adicionado com sucesso aos sistemas de DWCS e de monitorização da rede. Para tal utilizou-se a plataforma criada e inseriu-se um dispositivo novo. Após este passo verificou-se novamente o estado do mapa de rede do sistema de monitorização e comprovou-se que o mesmo já possuía o novo equipamento, neste caso o dispositivo “MEM101076”, o qual pode ser verificado na Ilustração 23.



**Ilustração 23 - Mapa da rede (atualizado)**

Foram efetuados vários testes com sucesso à plataforma de configuração, nomeadamente inserção, atualização e remoção de equipamentos na rede. Os mesmos atestam não só o bom funcionamento da mesma como também sua interoperabilidade com o sistema de monitorização da rede.

### 3.2.8 Testes em cenário real

Os testes efetuados em cenário real são baseados nos testes efetuados em laboratório e para tal definiram-se os seguintes:

- Testes de instalação;
- Testes de configuração;
- Testes de recuperação;
- Testes de convergência.

Estes testes, em cenário real, foram executados na rede local sem fios de larga escala Memória Online, mais precisamente na ramificação Lar, Santa Margarida e Farraposa, conforme pode ser verificado na Ilustração 18 apresentada anteriormente na secção 3.2.1 - Cenário de testes. A zona da rede que serve como cenário de testes real é composta por uma Distribuição Principal, duas Distribuições Secundárias e três clientes. O servidor de DWCS encontra-se situado no ponto central da rede, juntamente com os diversos servidores da mesma - isto para enfatizar o teste em cenário real.

Os testes de instalação são apresentados na Tabela 4 que indica o tempo que os equipamentos demoraram até ficarem operacionais.

**Tabela 4 - Testes de instalação em cenário real**

	<b>Cliente</b>	<b>Distribuição</b>
<b>Dispositivo instalado</b>	163 segundos	175 segundos

Os testes de configuração são apresentados na Tabela 5 que indica o tempo que os equipamentos demoraram até ficarem completamente configurados.

**Tabela 5 - Testes de configuração em cenário real**

	<b>Cliente</b>	<b>Distribuição</b>
<b>Dispositivo configurado</b>	52 segundos	87 segundos

Os testes de recuperação são apresentados na Tabela 6 que indica o tempo que os equipamentos demoraram a recuperar de uma configuração incorreta.

**Tabela 6 - Testes de recuperação em cenário real**

	<b>Cliente</b>	<b>Distribuição</b>
<b>Dispositivo configurado</b>	215 segundos	302 segundos

Os testes de convergência foram efetuados parcialmente, devido a limitações impostas pela administração da rede. De qualquer das formas os resultados dos testes foram bastante satisfatórios e muito parecidos aos obtidos em laboratório - como se pode constatar na Tabela 7.

**Tabela 7 - Testes de convergência em cenário real**

	<b>Tempo</b>
<b>Distribuição Principal</b>	184 segundos
<b>Distribuição Secundária (1)</b>	397 segundos
<b>Distribuição Secundária (2)</b>	568 segundos
<b>Cliente</b>	649 segundos

Como se pode verificar, mesmo devido ao facto de existir uma DS adicional neste cenário, os tempos apresentados não sofreram grandes alterações, quando em comparação com os testes laboratoriais.

### **3.3 Análise dos resultados**

Através dos resultados obtidos nos testes expostos anteriormente pode-se concluir que o sistema *Dynamic Wireless Configuration System* (DWCS) apresentado cumpre a tarefa para à qual foi delineado e fornece, aos administradores de uma rede local sem fios de larga escala, ferramentas de gestão autónoma de equipamentos. Os tempos obtidos na configuração, reconfiguração e recuperação dos dispositivos foram de encontro aos resultados esperados.

A vantagem deste sistema evidencia-se aquando da desconfiguração de um equipamento, independentemente da razão (má configuração, falha no equipamento ou outra). Este facto é validado pelos resultados obtidos durante a sessão de testes, onde a convergência de todos os equipamentos foi dentro do esperado, nomeadamente nos dois pontos de distribuição e no cliente, os quais se configuraram dinamicamente em menos de 6 minutos.

A vantagem mencionada anteriormente torna-se ainda mais relevante tendo em conta os testes efetuados no cenário real, os quais incluíram diversos clientes e distribuições a configurarem-se simultaneamente, testes esses que não revelaram lacunas na arquitetura do sistema de DWCS e que permitem validar a legitimidade da solução proposta.

### **3.4 Síntese**

Neste capítulo foi apresentada uma solução cujo objetivo foi colmatar uma das necessidades importantes encontradas nas redes locais sem fios de larga escala, a configuração dinâmica e autónoma dos equipamentos. Foi proposta a arquitetura para este sistema, demonstrando o seu funcionamento, a forma de comunicar entre os vários agentes definidos e os pontos-chave deste. Foi apresentado e explicado o algoritmo criado para funcionar com esta solução e de que forma este consegue garantir a configuração dinâmica. Por último foram expostos os testes e resultados efetuados a toda a solução, os quais foram bastante positivos e demonstraram que este sistema além de ser rápido é bastante fiável.

Mas esta não é a única necessidade neste tipo de redes, existe ainda outra, a gestão eficiente dos recursos da mesma. Para tal é apresentado, no capítulo seguinte, uma outra solução cuja finalidade é criar um sistema de qualidade de serviço adaptado às necessidades dos utilizadores da rede, em função dos recursos disponíveis e das políticas de gestão definidas.



# Capítulo 4

---

## 4 Qualidade de serviço dinâmica

Neste capítulo é abordado o sistema de qualidade de serviço distribuído e dinâmico para redes locais sem fios de larga escala - denominado de *Dynamic Quality of Service System* (DQoSS) - que tem como objetivo gerar políticas de QoS dinâmicas baseadas na utilização dos recursos dos clientes na rede e que permite otimizar os recursos disponíveis nas diferentes horas do dia, de acordo com as necessidades. Inicialmente é apresentada a qualidade de serviço neste tipo de redes, seguida da arquitetura definida e respetivos agentes, o funcionamento do sistema e a comunicação entre agentes. Por fim são apresentados os testes laboratoriais e em cenário real efetuados e os seus respetivos resultados.

## 4.1 QoS em redes locais sem fios de larga escala

A qualidade de serviço refere-se à capacidade de prestar um melhor serviço no tráfego de rede e é um conjunto de tecnologias que permitem às aplicações solicitar e receber os níveis de serviço previstos em termos de capacidade de processamento de dados (largura de banda), variações de latência (*jitter*) e atrasos. A utilização de QoS permite otimizar o funcionamento de uma rede, uma vez que o tráfego é diferenciado e tratado de acordo com o necessário.

Existem dois modelos capazes de fornecer qualidade de serviço a nível da camada de rede [40], estes são o *Differentiated Services* (DiffServ) e o *Integrated Services* (IntServ). O modelo IntServ caracteriza-se pela alocação de recursos para dois tipos de serviços: o serviço garantido para aplicações que precisam de atraso limitado e perdas nulas, e serviços de carga controlada para aplicações que necessitam de segurança. Antes de estabelecer uma comunicação, o emissor requisita ao destinatário a alocação de recursos necessários de forma a obter a melhor qualidade na transmissão de dados. Essa alocação de recursos é realizada através do *Resource Reservation Protocol* (RSVP) que troca mensagens de controlo. A troca dessas mensagens permite reservar os recursos necessários, sendo eles: a largura de banda e o tempo que a ligação será mantida.

O modelo DiffServ funciona na base da definição de serviços, é escalável e agrega fluxos de dados com requisitos idênticos num conjunto de Classes de Serviço (CoS<sup>5</sup>) limitado. Os fluxos pertencentes à mesma classe têm associado um *DiffServ Code Point* (DSCP) incorporado no campo *Type of Service* (ToS) do cabeçalho IP de modo a permitir que estes sejam identificados ao longo da rede. O DiffServ tem sido o modelo mais utilizado na implementação de QoS, pois é o que exige menos a nível de processamento por parte dos equipamentos.

As redes locais sem fios de larga escala, devido à sua natureza, necessitam de ter implementado mecanismos de QoS para garantir que todo o tráfego que nelas circula seja bem identificado, isto para que os diferentes fluxos de informação sejam tratados de acordo com o estipulado pelo administrador da rede. Estes mecanismos são importantes para o tráfego interno da rede, mas são ainda mais na ligação da rede ao *Internet Service Provider* (ISP), isto porque, por norma, os recursos fornecidos pelos operadores em

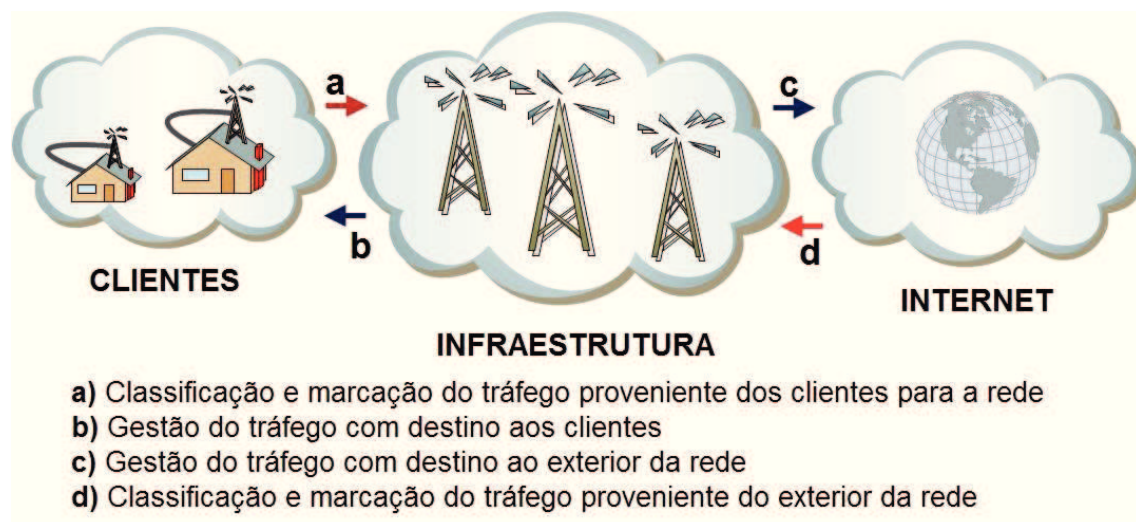
---

<sup>5</sup> do inglês Class of Service

regiões rurais - nomeadamente a largura de banda no acesso à Internet - são muito limitados. Devido a esse facto é imperativo que todo o tráfego com origem e destino à Internet seja gerido da melhor maneira possível, de forma a garantir o melhor acesso possível à Internet aos utilizadores da rede.

Neste tipo de redes é importante definir o que cada equipamento faz a nível de qualidade de serviço, isto é, que ações deverão ter os diferentes dispositivos espalhados pela rede para que exista realmente QoS.

Na Ilustração 24 estão apresentadas as ações que devem ser tomadas, a nível de qualidade de serviço, na implementação de uma rede local sem fios de larga escala, nomeadamente classificação, marcação e gestão de tráfego.



**Ilustração 24 - Implementação de QoS**

Como se pode verificar na ilustração anterior é extremamente importante classificar todo o tráfego que entra na infraestrutura e agrupar os diferentes fluxos de dados por requisitos. É também importante efetuar uma boa gestão de todo o tráfego que sai da infraestrutura, isto porque pode ser necessário aplicar limitações a certos fluxos de informação, nomeadamente nos fluxos com destino à Internet - isto devido às possíveis limitações já mencionadas anteriormente.

## **4.2 Arquitetura definida**

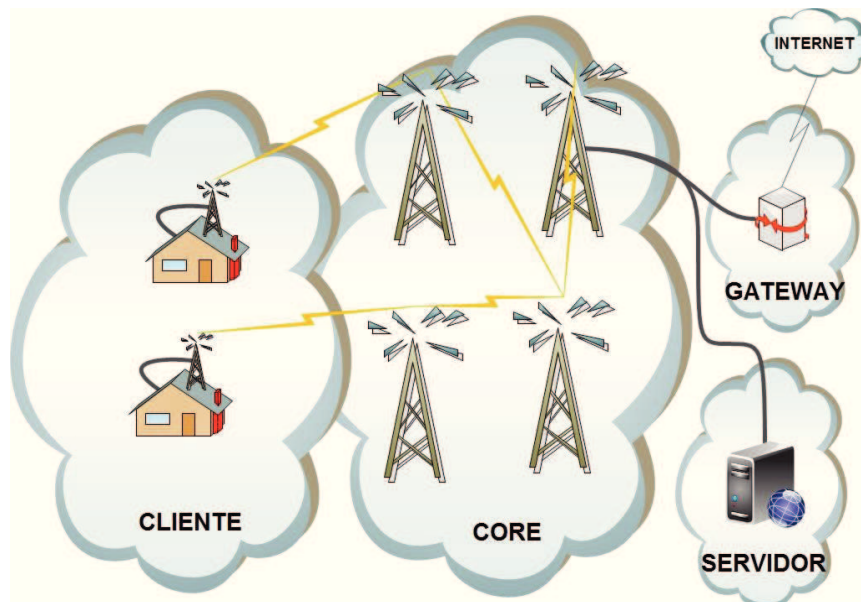
A infraestrutura de uma rede local sem fios de larga escala é composta nomeadamente por equipamentos de cliente, equipamentos de *core*, servidores e *gateways*. Os clientes são os equipamentos presentes em casa dos utilizadores finais, como o próprio nome

indica, e que são responsáveis pela classificação e marcação dos fluxos provenientes do cliente para a rede. Os equipamentos de *core* são, não só, os dispositivos distribuídos pela área a abranger, mas também aqueles que efetuam qualidade de serviço ao longo da rede. Os servidores são os equipamentos que fornecem os mais variados serviços aos utilizadores da rede e encontram-se normalmente localizados no ponto central da mesma. Os *gateways* são os equipamentos responsáveis por interligar a rede interna ao mundo exterior e responsáveis por classificar e marcar todo o tráfego que seja proveniente da Internet para dentro da rede.

O *Dynamic Quality of Service System (DQoSS)* baseia-se numa arquitetura distribuída e automatizada que é composta por vários agentes distintos, com o fim de providenciar uma qualidade de serviço em tempo real baseada em estatísticas de utilização fornecidas pelo servidor de modo a otimizar o uso dos recursos disponíveis na rede.

Um agente é uma entidade baseada em *software*, responsável por manter as políticas de qualidade de serviço nos equipamentos atualizadas, alterando para esse efeito as configurações do dispositivo associado a esse agente.

Na Ilustração 25 encontram-se identificados os quatro tipos de agentes do sistema presentes na infraestrutura da rede, os quais se encontram dispersos pela mesma.



**Ilustração 25 – Arquitetura Geral**

No sistema de DQoSS existem vários tipos de agentes espalhados por toda a rede: o agente Cliente, responsável pelo equipamento localizado nos diversos clientes; o agente

Core, presente em todos os dispositivos capazes de efetuar QoS no *core* da rede; o agente Gateway, implementado em todos os dispositivos de ligação à Internet; o agente Servidor, o qual é responsável pela gestão do sistema.

#### 4.2.1 Agentes

O agente Cliente é parte integrante do dispositivo presente em casa do cliente, como se pode ver na Ilustração 26. Este agente, tendo em conta o estado da rede em geral e o comportamento dos utilizadores da rede, aplica políticas de QoS específicas - nomeadamente classificação e marcação de fluxos - fornecidas pelo agente Servidor, de forma a garantir a qualidade de serviço e a usabilidade da infraestrutura.

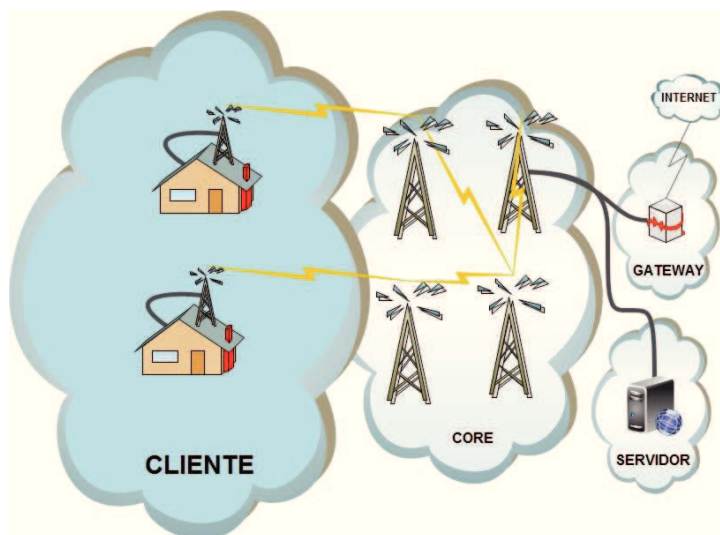
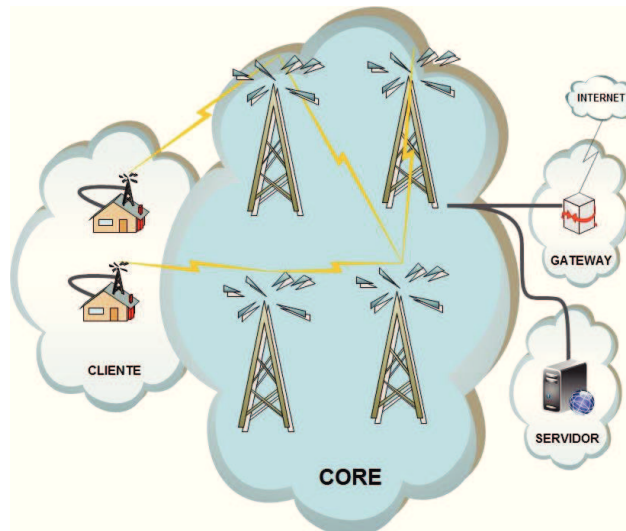


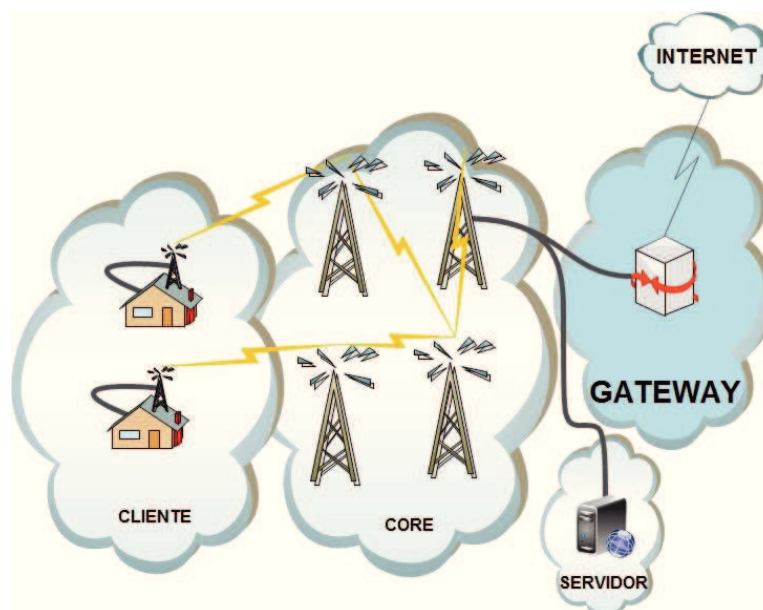
Ilustração 26 – Agente Cliente

O agente Core, apresentado na Ilustração 27, está embutido em todos os equipamentos que compõem o *core* da rede, equipamentos esses que aplicam mecanismos de qualidade de serviço ao tráfego que viaja pela mesma (excetuando os equipamentos *gateway*). Estes são responsáveis pela gestão de todo o tráfego pertencente à sua área de ação, evitando deste modo congestionamentos e perda de informação nos diversos pontos da infraestrutura.



**Ilustração 27 – Agente Core**

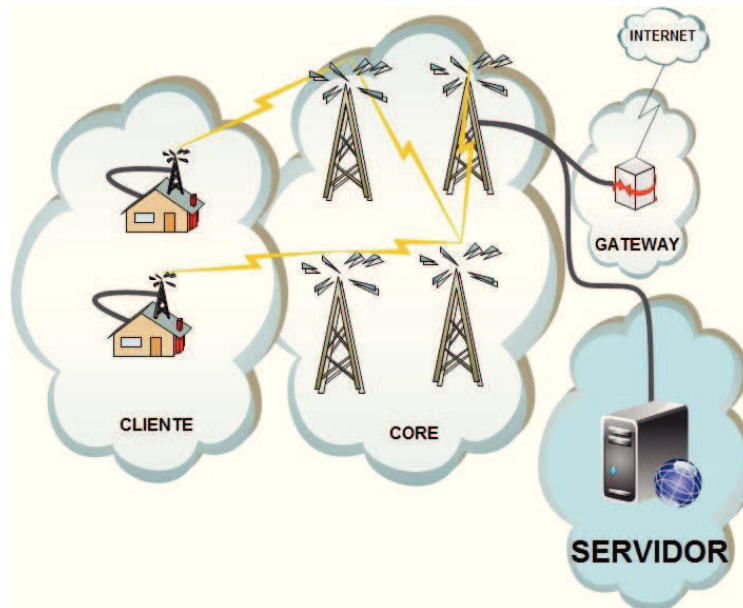
Os *gateways* têm como tarefa interligar a infraestrutura ao mundo exterior (Internet). Estes equipamentos incorporam o agente Gateway - visível na Ilustração 28 - que por um lado tem a função de classificar e marcar todo o tráfego proveniente da Internet, e por outro efetuar a gestão de todo o tráfego com destino à mesma.



**Ilustração 28 - Agente Gateway**

Por último, o agente Servidor, exibido na Ilustração 29, é responsável por disponibilizar todas as configurações de QoS distribuído aos outros agentes, para que estes configurem de forma correta os dispositivos a que estão agregados. Outra das funcionalidades deste agente é a de comunicar com o sistema de monitorização da rede de forma a conseguir

gerar dinamicamente as configurações e políticas de qualidade de serviço adequadas aos diversos agentes presentes na infraestrutura.



**Ilustração 29 - Agente Servidor**

#### **4.2.2 QoS definida para o caso de estudo**

A definição de qualidade de serviço numa rede está associada ao tipo de utilização por parte dos seus utilizadores e dos recursos existentes na mesma, o que leva a que as especificações de QoS sejam diferentes de rede para rede. Tendo isso em conta, definiu-se uma qualidade de serviço adaptada para um caso em concreto, a rede Memória Online.

Os fluxos de dados numa rede com QoS são mapeados para diferentes classes, consoante o seu tipo de informação. Na Ilustração 30 estão especificadas as 10 classes definidas para este caso específico.

ID	Descrição	ToS	DSCP
10	Serviços	224	56
9	Audio/Video	184	46
8	HTTP	136	34
7	HTTPS	128	32
6	MAIL/FTP	112	28
5	Redes Sociais	104	26
4	Streaming	96	24
3	Indefinido	80	20
2	P2P	56	14
1	Downloads	32	8

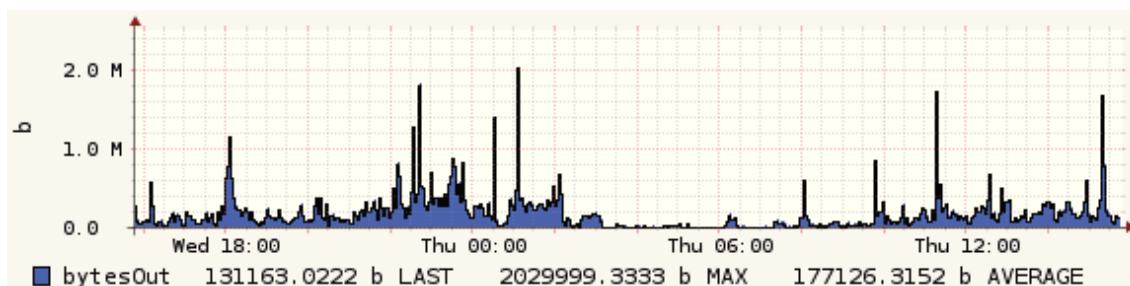
**Ilustração 30 - Classes de QoS**

Estas classes representam os diferentes fluxos de informação que viajam na rede local sem fios de larga escala Memória Online. Como referido no ponto anterior, cada um dos agentes tem funções específicas definidas a nível de QoS. Deste modo, estes agentes providenciam uma caracterização efetiva do tráfego gerado na rede, garantindo deste modo o bom funcionamento da mesma e a otimização da largura de banda disponível.

Apesar de neste sistema serem utilizadas as classes apresentadas na ilustração anterior, este facto não invalida a necessidade de adaptação das mesmas. Essa adaptação é realizada com base na análise dos fluxos de dados da rede e está pendente da aprovação do gestor da mesma.

#### **4.2.3 Criação de perfis de QoS**

O sistema de DQoSS está intrinsecamente ligado ao sistema de monitorização da rede, devido à sua necessidade de obter informações referentes ao tráfego existente na mesma. Essas informações indicam qual a largura de banda utilizada por determinado fluxo de dados e a que horas do dia acontece com mais frequência. Na Ilustração 31 encontra-se representado um gráfico de tráfego disponibilizado pelo sistema de monitorização de rede Nagios [41] - o qual é uma ferramenta de gestão e monitorização de rede relevante no panorama de gestão de infraestruturas de rede – que, neste exemplo, apresenta a largura de banda utilizada no envio de dados para a Internet ao longo de um dia por parte de um *gateway*.



**Ilustração 31 – Exemplo de *upload* num dia**

Como se pode observar, existem várias alturas em que a utilização da ligação à Internet é bastante reduzida e outras nas quais existe bastante tráfego. Através destes dados é possível otimizar a utilização da largura de banda nas diferentes horas do dia, permitindo que certo tipo de tráfego menos prioritário tenha mais largura de banda nas alturas de menor afluência.

Para que seja possível criar esse dinamismo é necessário que os equipamentos permitam esse tipo de comportamentos, para tal é necessário a existência de perfis de QoS, para cada tipo de equipamento (cliente, *core* ou *gateway*), que tenham as instruções necessárias para que os dispositivos procedam conforme o pretendido.

Os perfis de QoS são compostos pela configuração de qualidade de serviço - a nível de *firewall* - para o respetivo tipo de equipamento (cliente, *core* ou *gateway*), pela configuração das classes de QoS e respetivas limitações, podendo também conter eventuais atualizações para o sistema de DQoSS.

Para se conseguir automatizar a atualização dos perfis é necessário extrair as informações do sistema de monitorização da rede referentes ao tráfego existente. Estas informações incluem a largura de banda global utilizada ao longo de cada dia; a largura de banda global máxima disponível ao longo de cada dia; a largura de banda utilizada por cada uma das classes ao longo do dia e a largura de banda máxima definida para cada uma das classes ao longo do dia - informação essa que é resultante de uma iteração anterior do sistema de DQoSS.

De seguida é apresentado o algoritmo que é responsável pela atualização das limitações presentes nas diferentes classes, aplicada a cada um dos diferentes tipos de equipamentos. Este algoritmo baseia-se numa função linear de multiplicação aditiva /

multiplicação redutiva (MIMD<sup>6</sup>) e aplica incrementos e reduções de 10%, otimizando deste modo a largura de banda atribuída a cada classe, nas diferentes horas do dia, de acordo com as necessidades dos utilizadores da rede.

---

#### Limitações de QoS – Algoritmo de atualização

---

```
# usedBandwith: Total de largura de banda utilizada por todas as classes
# maxBandwidth: Largura de banda máxima disponível
# classUsedBandwidth: Total de largura de banda utilizada por uma classe
# classMaximumBandwidth: Largura de banda máxima disponível para uma classe
# totalClassesBandwidth: Somatório da largura de banda utilizada por todas as classes
```

```
totalClassesBandwidth=0
```

```
# Para cada classe
```

```
Step 1:
```

```
if ( usedBandwith < (maxBandwidth*0.9) )
```

```
{
```

```
Step 2:
```

```
if (classUsedBandwidth < (classMaximumBandwidth*0.8) )
```

```
{
```

```
Step 3:
```

```
If( (classMaxBandwidth*0.9) > (maxBandwidth*0.01))
```

```
{
```

```
classMaxBandwidth = (classMaxBandwidth*0.9)
```

```
totalClassesBandwidth+= classMaxBandwidth
```

```
}
```

```
}
```

```
else
```

```
{
```

```
Step 4:
```

```
if ( (classMaxBandwidth*1.1) < (maxBandwidth*0.8) )
```

```
{
```

```
Step 5:
```

```
If( totalClassesBandwidth < maxBandwidth )
```

```
{
```

```
classMaxBandwidth = (classMaxBandwidth*1.1)
```

```
totalClassesBandwidth+= classMaxBandwidth
```

```
}
```

```
}
```

```
}
```

```
}
```

```
}
```

```
else
```

```
{
```

```
classMaxBandwidth = (classMaxBandwidth*0.9)
```

---

<sup>6</sup> do inglês Multiplicative Increase / Multiplicative Decrease

}

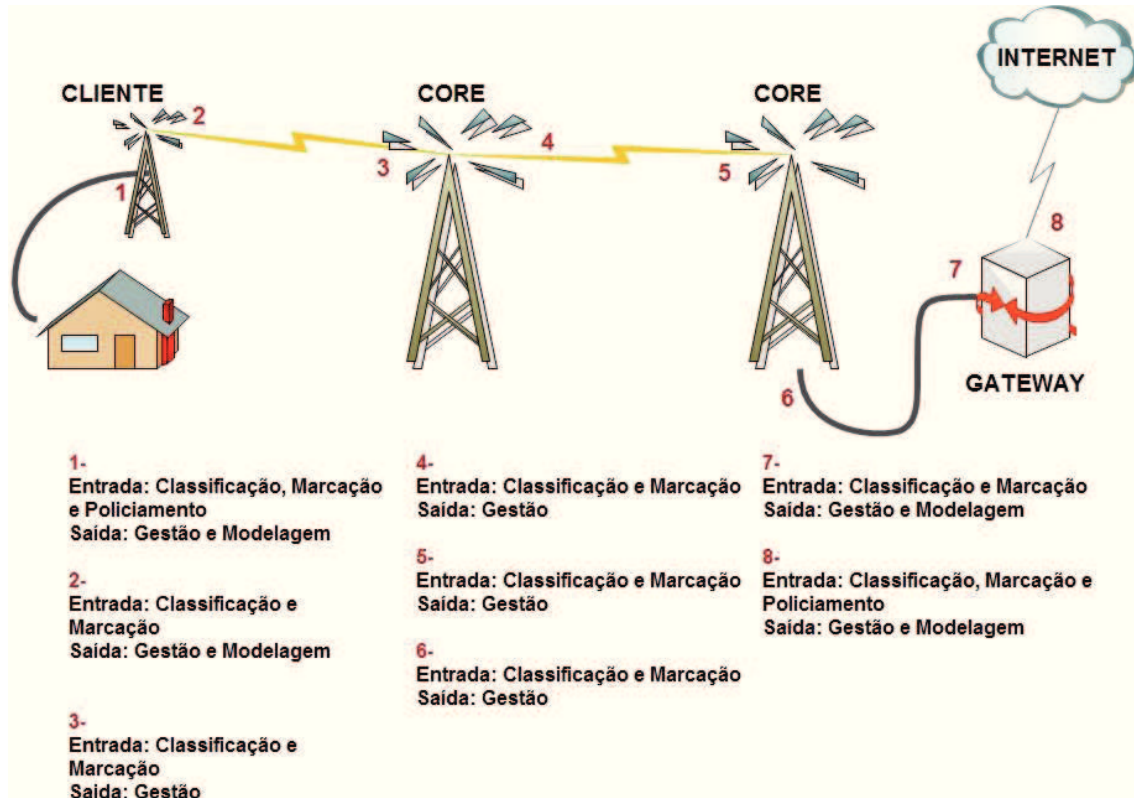
Através da aplicação deste algoritmo é possível atualizar perfis de QoS adaptados à carga verificada nas diferentes horas do dia, ao tipo de equipamento e ao tipo de tráfego presente na rede. Na Ilustração 32 podemos visualizar as classes existentes e os respectivos detalhes a nível de limitações de largura de banda, nomeadamente velocidades garantidas e velocidades máximas nas diferentes horas do dia - presentes respetivamente na primeira e segunda coluna de cada uma das classes. Este perfil em concreto é pertencente a um equipamento de *gateway* presente na rede Memória Online.

HOUR	SERVICES		AUDIO VIDEO		HTTP		HTTPS		MAIL FTP		SOCIAL NET.		STREAMING		INDEF		P2P		DOWNLOADS	
0	1M	6M	256K	2M	3M	10M	2M	8M	512K	2M	1M	4M	4M	6M	256K	2M	-	64K	-	128K
1	1M	6M	256K	2M	3M	10M	2M	8M	512K	2M	1M	4M	4M	6M	256K	2M	-	64K	-	128K
2	1M	6M	256K	2M	4M	10M	1M	8M	1M	2M	1M	4M	3M	6M	512K	2M	-	2M	-	2M
3	1M	6M	256K	2M	4M	10M	1M	8M	1M	2M	1M	4M	3M	6M	512K	2M	-	2M	-	2M
4	1M	6M	256K	2M	4M	10M	1M	8M	1M	2M	1M	4M	3M	6M	512K	2M	-	2M	-	2M
5	1M	6M	256K	2M	4M	10M	1M	8M	1M	2M	1M	4M	3M	6M	512K	2M	-	2M	-	2M
6	1M	6M	256K	2M	4M	10M	1M	8M	1M	2M	1M	4M	3M	6M	512K	2M	-	2M	-	2M
7	1M	6M	256K	2M	3M	10M	2M	8M	512K	2M	1M	4M	3M	6M	512K	2M	-	64K	-	128K
8	1M	6M	256K	2M	3M	10M	2M	8M	512K	2M	1M	4M	3M	6M	512K	2M	-	64K	-	128K
9	1M	6M	256K	2M	3M	10M	2M	8M	512K	2M	1M	4M	3M	6M	512K	2M	-	64K	-	128K
10	1M	6M	256K	2M	3M	10M	2M	8M	512K	2M	1M	4M	3M	6M	512K	2M	-	64K	-	128K
11	1M	6M	256K	2M	3M	10M	1M	8M	512K	2M	1M	4M	5M	6M	512K	2M	-	64K	-	128K
12	1M	6M	256K	2M	3M	10M	1M	8M	512K	2M	1M	4M	5M	6M	512K	2M	-	64K	-	128K
13	1M	6M	256K	2M	3M	10M	1M	8M	512K	2M	1M	4M	5M	6M	512K	2M	-	64K	-	128K
14	1M	6M	256K	2M	3M	10M	1M	8M	512K	2M	2M	4M	5M	6M	512K	2M	-	64K	-	128K
15	1M	6M	256K	2M	3M	10M	2M	8M	512K	2M	2M	4M	4M	6M	256K	2M	-	64K	-	128K
16	1M	6M	256K	2M	3M	10M	2M	8M	512K	2M	2M	4M	4M	6M	256K	2M	-	64K	-	128K
17	1M	6M	256K	2M	3M	10M	2M	8M	512K	2M	2M	4M	4M	6M	256K	2M	-	64K	-	128K
18	1M	6M	256K	2M	3M	10M	2M	8M	512K	2M	2M	4M	4M	6M	256K	2M	-	64K	-	128K
19	1M	6M	256K	2M	3M	10M	2M	8M	512K	2M	2M	4M	4M	6M	256K	2M	-	64K	-	128K
20	1M	6M	256K	2M	3M	10M	2M	8M	512K	2M	2M	4M	4M	6M	256K	2M	-	64K	-	128K
21	1M	6M	256K	2M	3M	10M	2M	8M	512K	2M	2M	4M	4M	6M	256K	2M	-	64K	-	128K
22	1M	6M	256K	2M	3M	10M	2M	8M	512K	2M	2M	4M	4M	6M	256K	2M	-	64K	-	128K
23	1M	6M	256K	2M	3M	10M	2M	8M	512K	2M	2M	4M	4M	6M	256K	2M	-	64K	-	128K

Ilustração 32 - Perfil de QoS para *gateway*

Outro fator importante a ter em conta é a função que cada tipo de equipamento tem a nível de qualidade de serviço. Na Ilustração 33 podemos observar que os diferentes dispositivos efetuam diferentes funções em termos de qualidade de serviço. Os equipamentos cliente têm de classificar, marcar e efetuar policiamento de todo o tráfego proveniente dos clientes, tal como efetuar gestão e modelagem do tráfego destinado aos mesmos. Os equipamentos de *core* classificam e marcam todo o tráfego que chega até eles através da rede e efetuam a gestão de todo o tráfego que enviam para a mesma. Os equipamentos de *gateway* efetuam classificação e marcação do tráfego proveniente da rede, tal como gestão e modelagem ao tráfego que enviam para a mesma. No caso da ligação à Internet o equipamento faz classificação, marcação e policiamento a todo o tráfego proveniente da Internet e gestão e modelagem a todo o tráfego que vai para ela.

Estas diferentes tarefas estão dependentes do tipo de equipamento onde são executadas, sendo que a sua adequação é fulcral para garantir uma qualidade de serviço distribuída real na rede.



**Ilustração 33 – QoS na Rede**

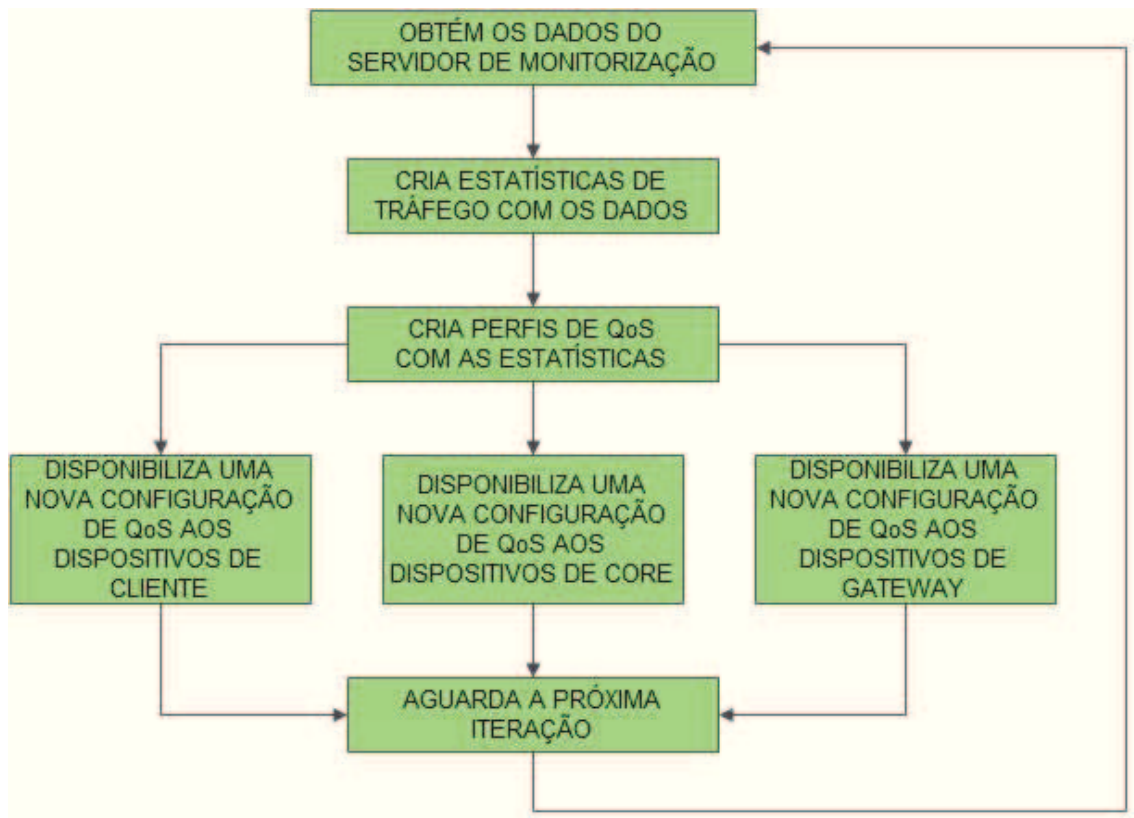
O sistema de DQoSS, através da análise do sistema de monitorização da rede, cria as configurações necessárias a cada um dos equipamentos inerentes à mesma, para que estes cumpram o seu papel de forma eficaz. Desta forma consegue-se obter um sistema de QoS dinâmico distribuído baseado na análise de tráfego em tempo real adaptando os recursos da rede às necessidades de utilização da mesma.

#### **4.2.4 Funcionamento do sistema**

Para que o sistema de DQoSS funcione autonomamente é necessário dotar os vários agentes presentes nos equipamentos com mecanismos para esse efeito. Para tal foram especificados dois modos de funcionamento.

O primeiro corresponde ao agente Servidor, presente na Ilustração 34 que ilustra as diferentes etapas de funcionamento do agente. Inicialmente o agente obtém as informações necessárias, provenientes do sistema de monitorização da rede. De seguida

cria estatísticas dos comportamentos dos diferentes fluxos de tráfego que circulam na mesma. Estas estatísticas são exportadas do sistema de monitorização da rede e guardadas em formato *Comma-Separated Values* (CSV), este CSV é utilizado pelo agente Servidor para atualizar os perfis de qualidade de serviço quando necessário. Por último, inicia a criação dos perfis de QoS para os diferentes agentes presentes na rede. Este processo repete-se periodicamente, de acordo com as especificações do administrador, para garantir um dinamismo em tempo real do sistema.



**Ilustração 34 - Funcionamento do agente Servidor**

O segundo modo é aplicado nos restantes equipamentos que se encontram na rede, nomeadamente nos equipamentos de cliente, de *core* e de *gateway*. Este modo de funcionamento, apresentado na Ilustração 35, permite aos dispositivos autoconfigurarem-se após comunicação com o agente Servidor. O agente associado a estes dispositivos verifica periodicamente se existem novas configurações de QoS disponíveis para o seu tipo (Cliente, Core ou Gateway), em caso afirmativo este obtém a nova configuração, salva o ficheiro de configuração no dispositivo e aplica as novas políticas de qualidade de serviço. Este procedimento não necessita que o equipamento

seja reiniciado, garantindo assim um fluxo de dados contínuo aquando da alteração da QoS aplicada no mesmo.

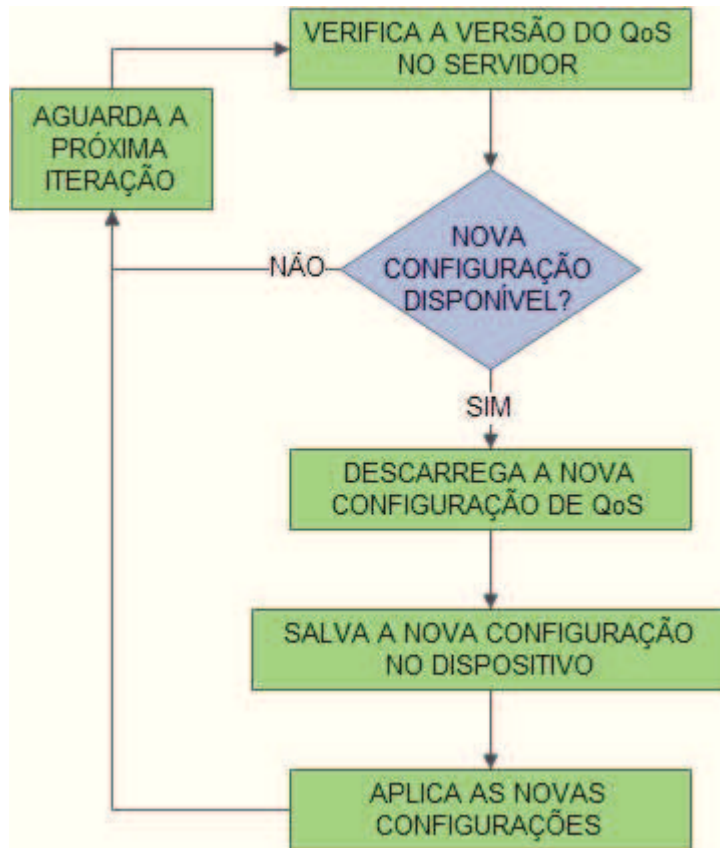
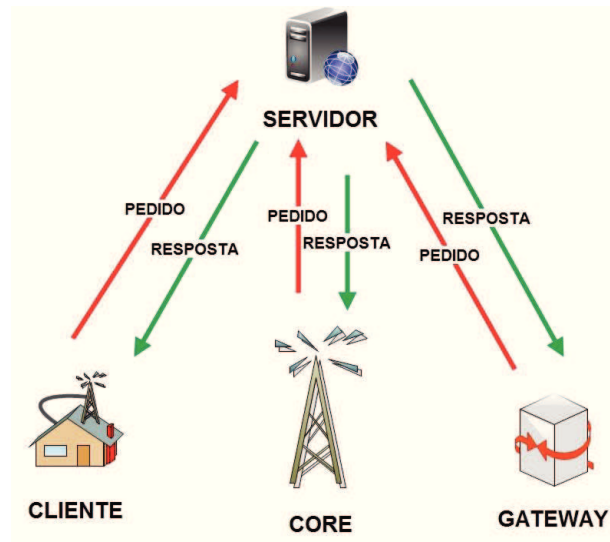


Ilustração 35 – Funcionamento dos agentes Cliente/Core/Gateway

#### 4.2.5 Comunicação no DQoS

Tal como no sistema apresentado no capítulo anterior, para esta solução também é necessário especificar qual o protocolo de comunicação a utilizar e qual o tipo de servidor a implementar, que neste caso serão também o protocolo HTTP e um servidor RESTful, respetivamente.

Os agentes Cliente, Core e Gateway têm como objetivo pedir configurações de qualidade de serviço ao agente Servidor, utilizando para tal o protocolo HTTP. O agente Servidor, como podemos ver na Ilustração 36, recebe esses pedidos e responde adequadamente.



**Ilustração 36 - Comunicação no DQoSS**

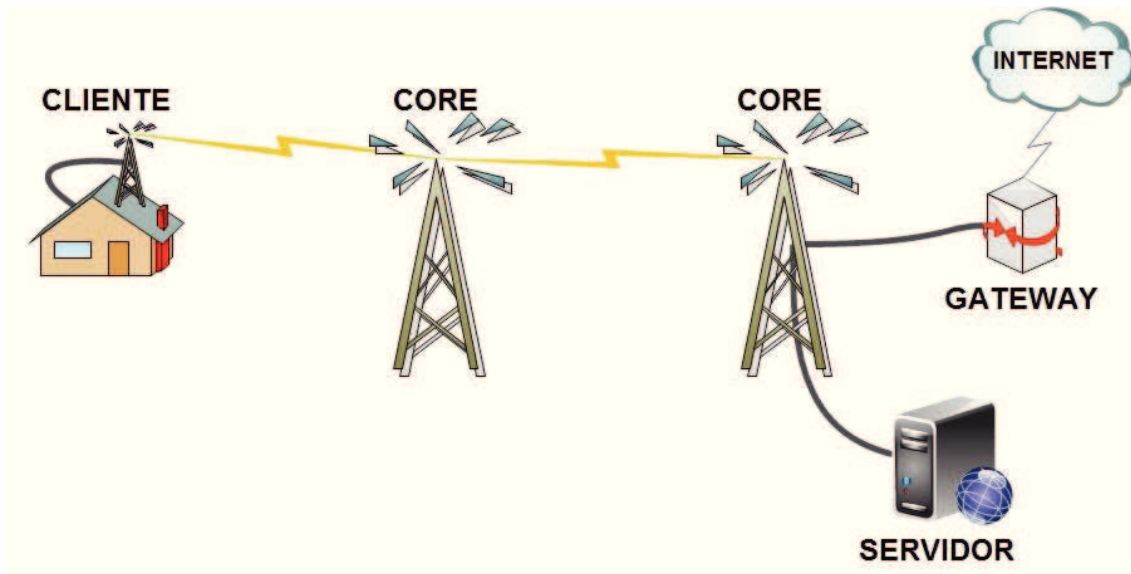
As comunicações, tal como acontecia no DWCS, nunca são iniciadas pelo agente Servidor, mas sim pelos restantes, visto estar a ser utilizado um modelo de comunicação cliente-servidor.

### **4.3 Testes e resultados**

Nesta secção estão descritos detalhadamente todos os testes efetuados ao sistema de DQoSS. Aqui também são apresentados todos os resultados dos mesmos.

#### **4.3.1 Cenário de testes**

Para se conseguirem efetuar todos os testes necessários para comprovar o bom funcionamento do DQoSS foi necessário implementar um cenário, o qual pode ser consultado na Ilustração 37. Este cenário é composto por um cliente, o qual efetua classificação e marcação de QoS, por duas distribuições que efetuam a gestão do tráfego, um servidor que cria as políticas de qualidade de serviço necessárias para os outros agentes e que tem incorporado o sistema de monitorização da rede, e por último, o *gateway* de ligação da rede à Internet, que classifica, marca e gere o tráfego de e para o exterior.



**Ilustração 37 - Cenário de testes**

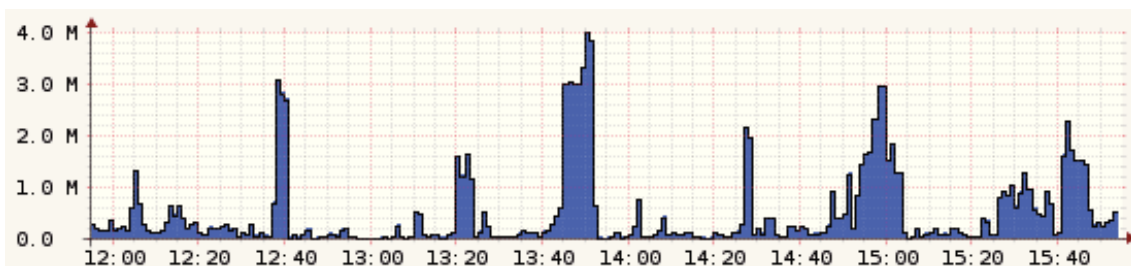
#### **4.3.2 Objetivo dos testes**

Os testes tiveram como objetivo verificar o bom funcionamento do sistema e detetar possíveis falhas que existissem. Para tal dividiram-se os testes em cinco grupos:

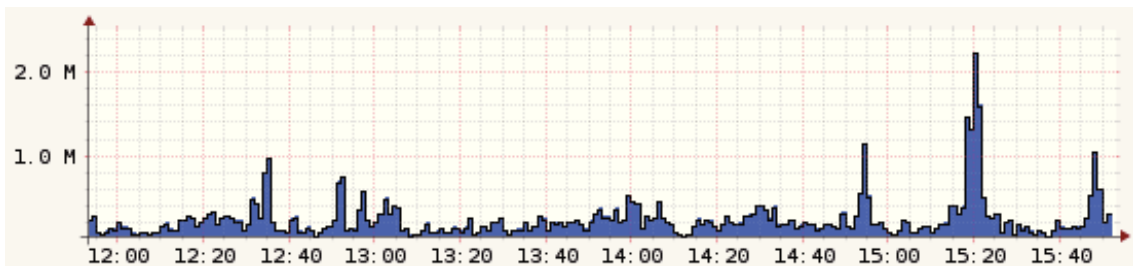
- Testes de análise de estatísticas;
- Testes de atualização de perfis de QoS;
- Testes de configuração dos equipamentos;
- Testes de análise de tráfego e largura de banda;
- Testes em cenário real.

#### **4.3.3 Testes de análise de estatísticas**

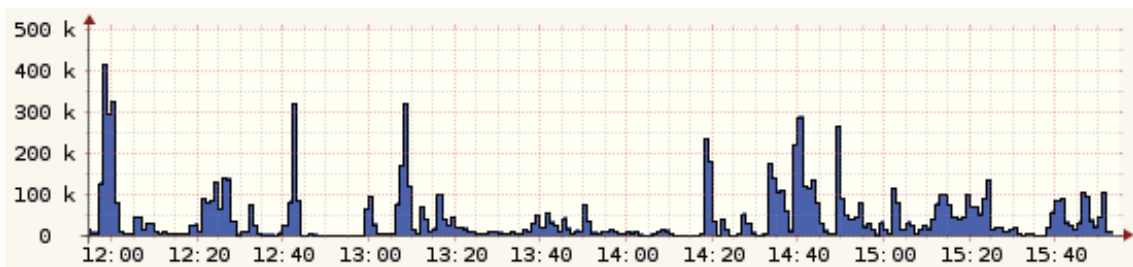
Este grupo de testes teve como objetivo verificar se o sistema de DQoS consegue extrapolar corretamente os dados do sistema de monitorização da rede - neste caso do Nagios. Como podemos verificar nos gráficos seguintes (Ilustração 38, Ilustração 39, Ilustração 40, Ilustração 41 e Ilustração 42) para cada diferente tipo de tráfego existe uma respetiva utilização da largura de banda disponível ao longo do dia.



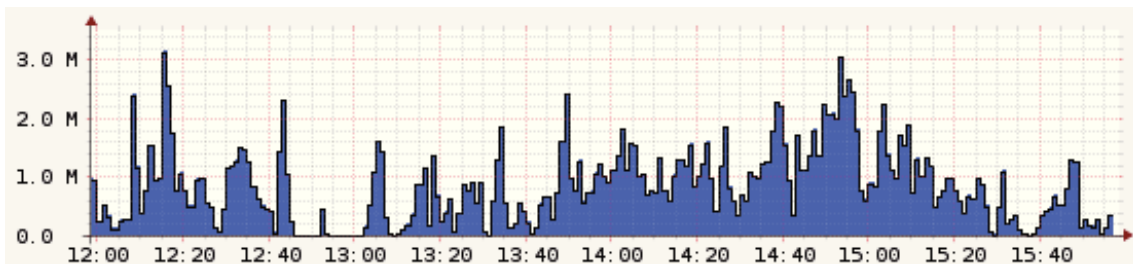
**Ilustração 38 - Tráfego HTTP**



**Ilustração 39 - Tráfego HTTPS**



**Ilustração 40 - Tráfego Redes Sociais**



**Ilustração 41 - Tráfego Streaming de Vídeo**



**Ilustração 42 - Tráfego Indefinido**

Na Tabela 8 encontra-se um pequeno exemplo, onde podemos visualizar a largura de banda utilizada em cada hora - através de uma média calculada pelo sistema - pelos diferentes tipos de tráfego.

**Tabela 8 - Dados provenientes do Nagios**

	12h	13h	14h	15h
<b>HTTP</b>	0.6M	1.5M	1M	0.9M
<b>HTTPS</b>	0.4M	0.1M	0.15M	0.7M
<b>Redes Sociais</b>	0.08M	0.07M	0.14M	0.1M
<b>Vídeo</b>	1.5M	1M	1.7	1M
<b>Indefinido</b>	2.5M	3M	2.9M	1.5M

Os dados presentes na tabela são provenientes do sistema de monitorização da rede e comprovam que o DQoSS consegue extrair as informações necessárias para criar os perfis de QoS dinamicamente.

#### 4.3.4 Testes de atualização de perfis de QoS

Os testes de atualização de perfis de QoS tiveram como objetivo verificar a capacidade do sistema para atualizar corretamente os perfis de qualidade de serviço necessários para os diferentes tipos de equipamentos, através do *output* proveniente do sistema de monitorização. Na Ilustração 43 podemos observar uma dessas atualizações, em formato CSV, posteriormente utilizada pelo sistema para disponibilizar aos outros agentes novos perfis de QoS. Este CSV é composto pelas velocidades garantidas e máximas para cada uma das classes de tráfego presentes no equipamento.

```
1M; 6M; 256K; 2M; 3M; 10M; 2M; 8M; 512K; 2M; 1M; 4M; 4M; 6M; 256K; 2M; 0; 64K; 0; 128K#1M; 6M; 256K; 2M; 3M; 10M; 2M; 8M; 512K; 2M; 1M; 4M; 4M; 6M; 256K; 2M; 0; 64K; 0; 128K#1M; 6M; 256K; 2M; 4M; 10M; 1M; 8M; 1M; 2M; 1M; 4M; 3M; 6M; 512K; 2M; 0; 2M; 0; 2M#1M; 6M; 256K; 2M; 4M; 10M; 1M; 8M; 1M; 2M; 1M; 4M; 3M; 6M; 512K; 2M; 0; 2M; 0; 2M#1M; 6M; 256K; 2M; 4M; 10M; 1M; 8M; 1M; 2M; 1M; 4M; 3M; 6M; 512K; 2M; 0; 2M; 0; 2M#1M; 6M; 256K; 2M; 4M; 10M; 1M; 8M; 1M; 2M; 1M; 4M; 3M; 6M; 512K; 2M; 0; 2M; 0; 2M#1M; 6M; 256K; 2M; 3M; 10M; 2M; 8M; 512K; 2M; 1M; 4M; 3M; 6M; 512K; 2M; 0; 64K; 0; 128K#1M; 6M; 256K; 2M; 3M; 10M; 2M; 8M; 512K; 2M; 1M; 4M; 3M; 6M; 512K; 2M; 0; 64K; 0; 128K#1M; 6M; 256K; 2M; 3M; 10M; 2M; 8M; 512K; 2M; 1M; 4M; 3M; 6M; 512K; 2
```

**Ilustração 43 – Exemplo de uma atualização de QoS em CSV**

### 4.3.5 Testes de configuração dos equipamentos

Este conjunto de testes teve como objetivo verificar o tempo necessário para que cada um dos diferentes tipos de equipamentos na rede se configure corretamente, aplicando as novas definições de qualidade de serviço criadas pelo servidor. Este teste é relevante na medida em que estes agentes só executam a procura de novas configurações periodicamente.

A Ilustração 44 apresenta o tempo médio decorrido entre a criação da nova configuração no servidor e a sua aplicação por parte do agente Cliente, valor esse de 152 segundos.

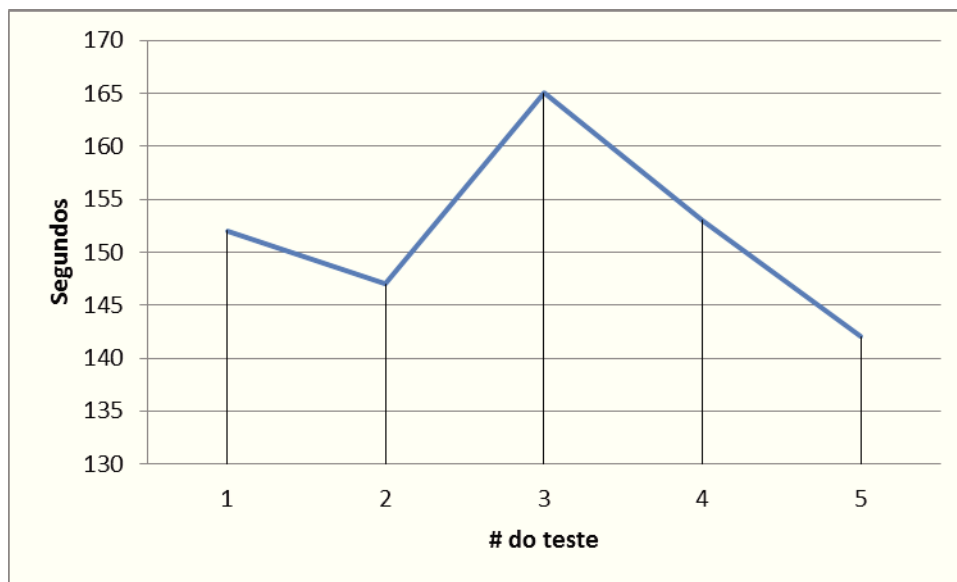


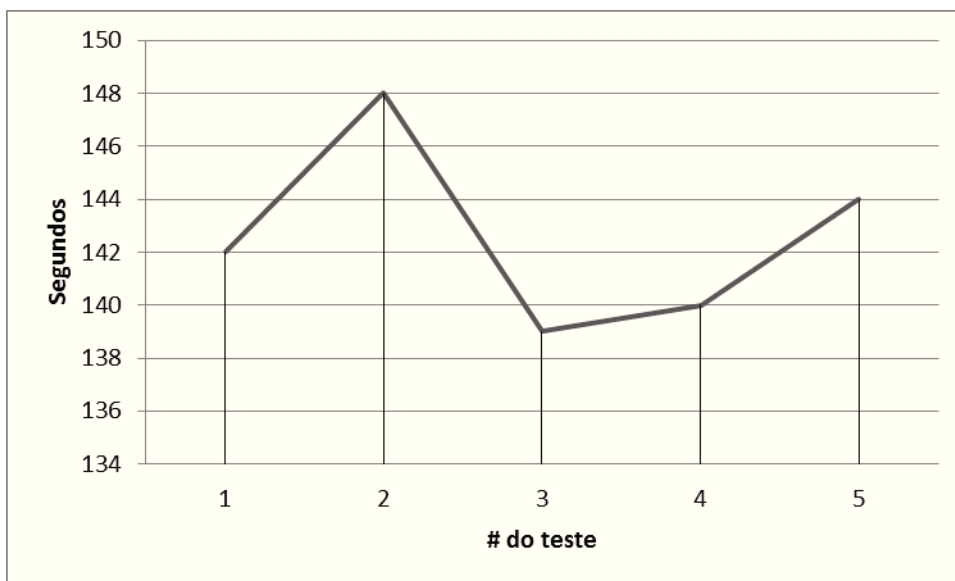
Ilustração 44 - Configuração de Clientes

Presente na Ilustração 45, podemos observar o tempo médio - de 138 segundos - que os dispositivos de *core* demoram a empregar as novas políticas de QoS existentes.



**Ilustração 45 - Configuração de Core**

Na Ilustração 46 é apresentado o tempo médio gasto pelos equipamentos de *gateway* na configuração de novas políticas de QoS - valor esse de 143 segundos.



**Ilustração 46 - Configuração de Gateway**

Os tempos médios apresentados anteriormente demonstram que o tempo de resposta necessário pelo sistema para implementar novas políticas de QoS dinamicamente é relativamente baixo - quando comparado com a reconfiguração manual.

Como se pode verificar na Ilustração 47 e na Ilustração 48, o sistema altera as

configurações de qualidade de serviço do equipamento tornando-as desse modo complacentes com a análise anterior. Na primeira figura é apresentada a QoS definida no equipamento antes da deteção do novo perfil.

Name	Parent	Limit At (b...	Max Limit ...
CLIENT_IN	global-in		12M
services_in	CLIENT_IN	1M	6M
audio_video_in	CLIENT_IN	256k	2M
http_in	CLIENT_IN	3M	10M
https_in	CLIENT_IN	1M	8M
mail_ftp_in	CLIENT_IN	512k	2M
social_networks_in	CLIENT_IN	1M	4M
streaming_sites_in	CLIENT_IN	5M	6M
undifferentiated_in	CLIENT_IN	512k	2M
p2p_in	CLIENT_IN		64k
downloads_in	CLIENT_IN		128k
CLIENT_OUT	global-out		1500k
services_out	CLIENT_OUT	256k	1M
audio_video_out	CLIENT_OUT	64k	256k
http_out	CLIENT_OUT	256k	1M
https_out	CLIENT_OUT	96k	512k
mail_ftp_out	CLIENT_OUT	64k	256k
social_networks_out	CLIENT_OUT	256k	512k
streaming_sites_out	CLIENT_OUT	256k	768k
undifferentiated_out	CLIENT_OUT	32k	128k
p2p_out	CLIENT_OUT		32k
downloads_out	CLIENT_OUT		32k

**Ilustração 47 - QoS inicial do equipamento**

Na segunda figura temos como resultado a aplicação do novo perfil criado, pelo servidor, no equipamento. Como se pode constatar a QoS do dispositivo sofreu várias alterações, nomeadamente nas velocidades garantidas por tipo de tráfego.

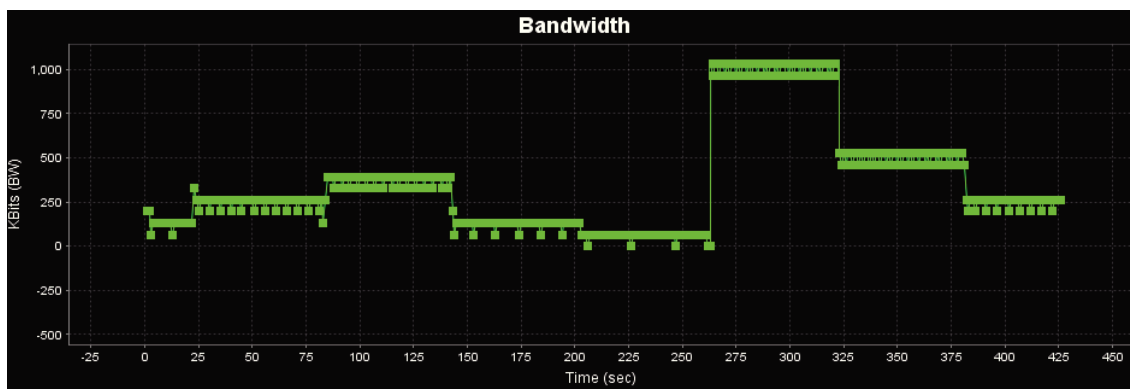
Name	Parent	Limit At (b...	Max Limit ...
CLIENT_IN	global-in		12M
services_in	CLIENT_IN	1M	6M
audio_video_in	CLIENT_IN	256k	2M
http_in	CLIENT_IN	4M	10M
https_in	CLIENT_IN	1M	8M
mail_ftp_in	CLIENT_IN	1M	2M
social_networks_in	CLIENT_IN	1M	4M
streaming_sites_in	CLIENT_IN	3M	6M
undifferentiated_in	CLIENT_IN	512k	2M
p2p_in	CLIENT_IN		2M
downloads_in	CLIENT_IN		2M
CLIENT_OUT	global-out		1500k
services_out	CLIENT_OUT	256k	1M
audio_video_out	CLIENT_OUT	64k	256k
http_out	CLIENT_OUT	384k	1M
https_out	CLIENT_OUT	128k	512k
mail_ftp_out	CLIENT_OUT	128k	256k
social_networks_out	CLIENT_OUT	128k	512k
streaming_sites_out	CLIENT_OUT	64k	768k
undifferentiated_out	CLIENT_OUT	64k	128k
p2p_out	CLIENT_OUT		128k
downloads_out	CLIENT_OUT		128k

**Ilustração 48 - QoS enviado pelo DQoSS**

Estas alterações acontecem sempre que o servidor cria um novo perfil para os diferentes tipos de equipamento. A periodicidade destas alterações pode ser definida de hora a hora, de minuto a minuto ou dependendo da necessidade de modificação da estrutura de QoS da rede.

#### 4.3.6 Testes de análise de tráfego e largura de banda

Os testes de análise de tráfego são efetuados para observar o funcionamento do sistema DQoSS em tempo real, verificando se o mesmo consegue alterar as políticas de QoS de uma ligação ativa sem que haja quebras na mesma. Na Ilustração 49, podemos visualizar um dos testes efetuados com o jPerf [42], o qual mostra os diferentes perfis aplicados pelo DQoSS a uma ligação.



**Ilustração 49 - Análise com jPerf**

Analisando estes resultados podemos verificar as diferentes larguras de banda atribuídas pelo servidor a um fluxo de dados, ao longo das várias horas do dia, de acordo com as estatísticas criadas pelo mesmo através do *output* do sistema de monitorização.

#### 4.3.7 Testes em cenário real

Os testes efetuados em cenário real são baseados nos testes efetuados em laboratório e para tal definiram-se os seguintes:

- Testes de análise de estatísticas;
- Testes do sistema de perfis de QoS;
- Testes de configuração dos equipamentos;
- Testes de análise de tráfego e largura de banda.

Estes testes, em cenário real, foram executados na rede Memória Online, também eles na ramificação Lar, Santa Margarida e Farraposa, apresentada no capítulo anterior. A zona da rede que serve como cenário de testes real é composta por três distribuições e três clientes. O servidor de DQoS encontra-se situado no ponto central da rede.

Após a realização dos testes em cenário real, e comparando o resultado com os obtidos durante os testes laboratoriais verificou-se que o sistema se comporta de maneira semelhante em ambos os casos. Este facto vem comprovar a adaptabilidade do sistema apresentado face a novas tipologias de rede, sendo que as diferenças encontradas ao nível dos perfis criados são justificadas pelo tráfego presente em cada um dos cenários.

## 4.4 Análise dos resultados

Através dos resultados obtidos nos testes descritos anteriormente é possível concluir que o sistema *Dynamic Quality of Service System* (DQoSS) que foi apresentado neste documento cumpre a tarefa para o qual foi criado. Este permite que uma rede tenha uma política de QoS dinâmica distribuída, utilizando para tal as estatísticas obtidas do próprio sistema de monitorização da rede num dado intervalo de tempo.

Foi também possível verificar que os equipamentos presentes na rede conseguem modificar as suas políticas de QoS dinamicamente, consoante a utilização dos utilizadores da mesma.

Verificou-se que este sistema executa uma gestão das políticas de qualidade de serviço de uma forma autónoma, sem qualquer intervenção por parte dos administradores da rede e sem deteriorar os fluxos de dados ativos aquando da aplicação destas modificações.

Em suma, constatou-se uma eficiência na utilização dos recursos disponíveis, em função do tipo de tráfego e das políticas de qualidade de serviço definidas.

## 4.5 Síntese

Neste capítulo foi apresentada uma solução para otimizar a utilização dos recursos de uma rede local sem fios de larga escala. Foi apresentada a arquitetura para este sistema, a qual expõe o modo de funcionamento, qualidade de serviço definida e a comunicação entre agentes. Foi explicado o algoritmo criado para funcionar com esta solução e de que forma este consegue disponibilizar uma qualidade de serviço distribuída e dinâmica. Por último foram expostos os testes e resultados efetuados a toda a solução, os quais revelaram que, não só é possível conseguir uma otimização dos recursos adaptada aos utilizadores da rede nas diferentes horas do dia, mas que também é exequível efetuar alterações às políticas de QoS dos equipamentos sem que haja um impacto significativo na rede.

# Capítulo 5

---

## 5 Conclusões

Nesta dissertação foram propostas duas soluções, uma de configuração dinâmica de equipamentos e outra de configuração dinâmica de qualidade de serviço, ambas para redes locais sem fios de larga escala, as quais se encontram dispersas por uma vasta área rural e possuem escassos recursos a nível do acesso à Internet.

A primeira tem como objetivo automatizar a configuração de equipamentos, sejam eles de clientes ou da própria infraestrutura, de uma forma dinâmica e rápida. Foram realçadas as vantagens que o *Dynamic Wireless Configuration System* (DWCS) traz às redes locais sem fios de larga escala, nomeadamente a redução de custos, tanto a nível de instalação como de manutenção, o automatismo facultado à rede e a inteligência proporcionada aos equipamentos. Foi demonstrado detalhadamente todo o funcionamento padrão do sistema, principalmente o modo de configuração automática

sem ser necessária a intervenção do administrador. Os resultados obtidos demonstram que este sistema é rápido e eficaz, o que possibilita uma instalação, configuração e recuperação automatizada dos equipamentos, excluindo assim a necessidade de intervenção por parte de equipas especializadas.

Além dos testes efetuados em laboratório, através do uso de uma réplica do cenário real (Memória Online), este sistema também foi testado na rede real e os resultados foram praticamente os mesmos que aqueles encontrados no cenário de laboratório. As vantagens que este tipo de sistemas apresenta em redes que englobem áreas geográficas muito grandes são a automatização da configuração dos equipamentos e a autossustentabilidade deste tipo de redes. A escalabilidade da rede não foi posta em causa, visto o DWCS ter sido pensado e criado para operar com um grande número de equipamentos. A integração com outros sistemas existentes também foi tida em conta, permitindo comunicação entre os mesmos.

Na segunda foi proposto um sistema de configuração dinâmica de qualidade de serviço para redes locais sem fios de larga escala. Este sistema tem como objetivo maximizar os recursos a nível de largura de banda, de uma forma dinâmica e adaptativa. Foram identificadas as vantagens que o *Dynamic Quality of Service System* (DQoS) acarreta para estas redes rurais, nomeadamente uma qualidade de serviço que se adapta às necessidades da rede, de uma forma automática e sem necessidade de intervenção por parte dos administradores. Foi demonstrado o funcionamento do sistema, nomeadamente o modo como este gera os vários perfis de QoS necessários para a rede, otimizando os recursos da mesma. Os resultados obtidos atestam a funcionalidade do sistema, tanto nos testes efetuados em laboratório, através do uso de uma réplica do cenário real (Memória Online), como na rede real, onde estes foram de encontro com os esperados.

É ainda notório que a escalabilidade da rede não foi comprometida, também neste segundo sistema, na medida em que o sistema de DQoS foi projetado de forma a ter em conta o suporte da infraestrutura para um vasto número de equipamentos.

Após tudo o que foi apresentado nesta dissertação, conclui-se que as soluções apresentadas trazem inúmeras vantagens para uma rede local sem fios de larga escala, nomeadamente a autoconfiguração de equipamentos, a recuperação automática de dispositivos, a otimização de recursos disponibilizados pela rede e a redução de custos

associados à manutenção da infraestrutura. Isto torna este tipo de infraestruturas inteligentes e dinâmicas, o que as torna sustentáveis e autónomas, potenciando a sua utilização em zonas rurais e dispersas.

## **5.1 Trabalho futuro**

Tendo em conta os sistemas propostos e toda a implementação realizada, o próximo passo a seguir deverá ser o alargamento do leque de dispositivos suportados por estas soluções, nomeadamente equipamentos que não sejam baseados em OpenWRT. Para além disso estes sistemas deverão ser testados em redes compostas por vários equipamentos de vários fabricantes e com sistemas operativos diferentes, permitindo assim provar as mais-valias que estes trazem às redes de comunicação sem fios.



# Bibliografia

- [1] ANACOM. [<http://www.anacom.pt>]. Junho 2013.
- [2] S. Mishra, J. Hwang, D. Filippini, R. Moazzami, L. Subramanian, T. Du. “Economic analysis of networking technologies for rural developing regions”. Internet and Network Economics. Springer Berlin Heidelberg. 2005
- [3] M. Ranga, Mamello Thinyane, Alfredo Terzoli. “Exploring Cost-Effective Reinforcements for Rural Telecommunication Networks: Dwesha Case Study”. SATNAC. 2010.
- [4] Rodrigo Selada. “Redes Wireless de Banda Larga”. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. 2008.
- [5] Alex Hills. “Large-Scale Wireless LAN Design”. IEEE Communications Magazine. 2001.
- [6] S. Surana, R. Patra, E. Brewer. “Simplifying fault diagnosis in locally managed rural WiFi networks”. Proceedings of the 2007 workshop on Networked systems for developing regions. ACM. 2007.
- [7] Luís Frazão, Silvana Meire, Carlos Rabadão, António Pereira. “Modelo de Gestão de Rede Wireless de Banda Larga em Ambientes Rurais”. Sistemas e Tecnologias de Informação – CISTI. 2013.
- [8] IEEE 802 Standards Committee. [<http://ieee802.org/11>], acedido em Abril de 2013.
- [9] A. Costa, T. Nobre. “Redes Wireless de Banda Larga” Instituto Politécnico de Leiria. 2009.

- [10] N. Salvador. “Modelo de Gestão para Redes Wireless de Banda Larga”. Tese de Mestrado. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. 2008
- [11] J. Strassner. “Autonomic Networking – Theory and Practice”. IEEE Tutorial. 2004.
- [12] C. Prehofer, C. Bettstetter. “Self-Organization in Communication Networks: Principles and Paradigms”. IEEE Communication Magazine. 2005.
- [13] E. Lehtihet, H. Derbel, N. Agoulmine, Y. Ghamri-Doudane, Sven van der Meer. “Initial approach toward self-configuration and self-optimization in IP networks”. Management of multimedia network and services. 2005.
- [14] N. Agoulmine, S. Balasubramaniam, D. Botvitch, J. Strassner, E. Lehtihet, W. Donnelly. “Challenges for autonomic network management”. First Conference on Modelling Autonomic Communication Environment. 2006.
- [15] F.J. Mullany, et al. “Self-Deployment, Self-Configuration: Critical Future Paradigms for Wireless Access Networks”. WAC 2005. 2004.
- [16] K. Zimmerman. “An Autonomic Approach for Self-Organising Access Points”. Diploma Thesis, University of Ulm – Germany. 2004.
- [17] U. Manzoor, K. Ijaz, A. Shahid. “Distributed dependable enterprise business system – DDEBS”. Proceeding of springer communications in computer and information science, vol.19. 2008.
- [18] M.H. Fazel Zarandi, P. Ahmadpour. “Fuzzy agent-based expert system for steel making process”. Expert Systems With Applications 36(5). 2008.

- [19] Sergio Ibarria, Eduardo Mena, Arantza Illarramendib. "Using cooperative mobile agents to monitor distributed and dynamic environments". *Information Sciences*, 178. 2007.
- [20] J.O. Kephart, W.E. Walsh. "An artificial intelligence perspective in autonomic computing policies". *Proceedings of POLICY'04*. 2004.
- [21] G. Weiss. "Multiagent systems a modern approach to distributed artificial intelligence". The MIT Press Crambridge. 1999.
- [22] Kai Zimmermann, Sebastian Felis, Stefan Schmid, Lars Eggert, Marcus Brunner. "Autonomic Wireless Network Management2. NEC Europe Ltd., Network Laboratories. 2006.
- [23] Umar Manzoor, Samia Nefti. "Autonomous agents: Smart Network installer and tester (SNIT)2. *Expert Systems with Applications*. 2010.
- [24] Saifur Rahman, Manisa Pipattanasomporn, Yonael Teklu. "Intelligent Distributed Autonomous Power Systems". *Critical Infrastructure Protection, First IEEE International Workshop*. 2005.
- [25] Hajer Derbel, Nazim Algomine, Mikaël Salaün. "ANEMA: Autonomic network management architecture to support self-configuration and self-optimization in IP networks". *Computer Networks*. 2008.
- [26] Wi-Fi Alliance. "Wi-Fi CERTIFIED Wi-Fi Protected Setup". 2010.
- [27] Buffalo Technology. "AirStaion One-Touch Secure System". 2004.
- [28] Alberto Cerpa, Deborah Estrin. "ASCENT: Adaptive Self-Configuring sE nsor Networks Topologies". University of California, Los Angeles (UCLA). 2004.

- [29] Sudip Misra, Ankur Jain. “Policy controlled self-configuration in unattended wireless sensor networks”. *Journal of Network and Computer Applications*. 2010.
- [30] S.S. Deb, M.E. Woodward. “A new approach for scaling QoS Routing algorithms”. *IEEE Globcom*. 2004.
- [31] G. Apostolopoulos, R. Guerin, S. Kamat, S. Tripathi. “Quality of service based routing: a performance perspective”. *Proceedings of ACM SIGCOMM*. 1998.
- [32] W. Li. “DynaQoS-RDF: a best effort for QoS assurance of dynamic reconfiguration of dataflow systems”. *Journal of Software Maintenance and Evolution: Research and Practise* 21(1). 2009.
- [33] Mauro Caporuscio, Antinisca Di Marco, Paola Inverardi. “Model-based system reconfiguration for Dynamic performance management”. *The Journal of Systems and Software*. 2006.
- [34] Wei Li. “Evaluating the impacts of Dynamic reconfiguration on the QoS of running systems”. *The Journal of Systems and Software*. 2011.
- [35] Wi-Fi Alliance. “The State of Wi-Fi Security”. 2012.
- [36] W3C. [<http://www.w3.org/Protocols>], acedido em Maio de 2013.
- [37] Alex Rodriguez. IBM. “RESTful web services: The basics”, [<http://www.ibm.com/developerworks/webservices/library/ws-restful>], acedido em Junho de 2013.
- [38] Alex Berson. “Client/Server Architecture”. McGraw-Hill. 1996

[39] OpenWRT, [<http://openwrt.org>], acedido em Julho 2013.

[40] A. Pereira. “Mapeamento entre Arquitecturas de Serviços Integrados e de Serviços Diferenciados para suporte de Qualidade de Serviço na Internet”. Tese de Doutoramento. Universidade de Coimbra. 2006.

[41] Nagios, [<http://www.nagios.org>], acedido em Julho 2013.

[42] jPerf, [<http://sourceforge.net/projects/jperf/>], acedido em Junho 2013.