

2 METODOLOGIA

A metodologia assenta na realização de testes automáticos extremo-a-extremo permitindo, dessa forma, identificar em campo a qualidade de serviço, dando uma perspectiva tão realista quanto possível do desempenho das redes, do ponto de vista do utilizador.

A recolha de medidas é feita através de *drive-tests* o que, além de possibilitar uma avaliação das redes na perspectiva do utilizador, permite que a realização dos testes seja independente do correcto funcionamento das próprias redes, isto é, por exemplo áreas com cobertura deficiente ou mesmo ausente são também consideradas na análise.

Por outro lado, a utilização de um único sistema de testes para avaliar os serviços, disponibilizados pelas três redes móveis, permite um alto grau de comparabilidade dos resultados, no tempo e no local.

2.1 ASPECTOS FUNDAMENTAIS

A metodologia seguida neste estudo assenta em três aspectos fundamentais:

- a) **Medidas extremo-a-extremo** – nos valores medidos encontram-se reflectidos todos os aspectos técnicos que influenciam a qualidade de um serviço.
- b) **Imparcialidade** – as medições são efectuadas em igualdade de condições para os três operadores (OPTIMUS, TMN e VODAFONE).
- c) **Objectividade** – os testes são realizados de uma forma totalmente automática, eliminando-se a subjectividade inerente à intervenção ou decisão humana.

2.2 PRINCIPAIS INDICADORES DE QoS

Numa perspectiva de utilizador, a utilização dos serviços móveis apresenta as seguintes fases (diferentes aspectos da Qualidade de Serviço):

- a. **Disponibilidade da Rede** – Indicação de que a rede móvel está presente;
- b. **Acesso à Rede** – Indicação de que é possível utilizar os serviços (normalmente corresponde à indicação do nome da rede no visor do equipamento terminal e da indicação de disponibilidade GPRS e/ou 3G);
- c. **Acesso ao Serviço** – Corresponde à disponibilização, por parte do operador móvel, do acesso ao serviço que o utilizador pretende utilizar (v.g. estabelecer uma chamada de voz);

- d. **Integridade do Serviço** – Corresponde à Qualidade do Serviço (QoS) durante a sua utilização (v.g. Qualidade Áudio durante uma chamada de voz; Qualidade Vídeo durante uma chamada de videotelefonia);
- e. **Retenção/Manutenção do Serviço** – Corresponde à forma como termina a utilização do serviço (de acordo ou contra a vontade do utilizador).

Para cada um destes aspectos da QoS, foram analisados os principais Indicadores de Qualidade de Serviço.

2.2.1 INDEPENDENTES DO SERVIÇO

2.2.1.1 DISPONIBILIDADE DA REDE RADIOELÉCTRICA (COBERTURA)

A disponibilidade da rede é a probabilidade dos serviços móveis estarem disponíveis para um utilizador (cobertura radioelétrica das redes).

$$\text{Disponibilidade da Rede Radioelétrica [\%]} = \frac{\sum \text{Medições com os Serviços Móveis Disponíveis}}{\sum \text{Medições Realizadas}} \times 100$$

Considera-se que os serviços móveis estão disponíveis quando os níveis de sinal radioelétrico apresentam valores acima de limiares mínimos que permitam a sua utilização. Estes limiares podem ser ajustados pelos operadores móveis e normalmente apresentam valores diferenciados para GSM e para WCDMA².

O sistema de teste e medida utilizado permite, através de um *Scanner de RF*, medir continuamente os níveis de sinal de cada rede móvel. Estas medidas são georreferenciadas permitindo a sua representação em mapas, facilitando a visualização dos níveis de cobertura das redes móveis nos trajectos objecto de estudo.

Tabela 1 – Níveis de Cobertura

Cobertura	GSM	WCDMA
Boa	RxLev \geq -85 dBm	CPICH RSCP \geq -95 dBm
Aceitável	-95 dBm \leq RxLev $<$ -85 dBm	-105 dBm \leq CPICH RSCP $<$ -95 dBm
Má	-110 dBm \leq RxLev $<$ -95 dBm	-115 dBm \leq CPICH RSCP $<$ -105 dBm
Inexistente	RxLev $<$ -110 dBm	CPICH RSCP $<$ -115 dBm

² Wideband Code Division Multiple Access – Tecnologia utilizada na rede radioelétrica dos sistemas de comunicações UMTS.

2.2.2 SERVIÇOS DE TELEFONIA

2.2.2.1 ACESSIBILIDADE DO SERVIÇO (VOZ E VIDEOTELEFONIA)

A acessibilidade do serviço é a probabilidade de um utilizador ter acesso ao serviço (voz ou videotelefonía), ou seja, probabilidade de sucesso no estabelecimento de chamadas (de voz ou de videotelefonía).

Uma chamada será considerada “Estabelecida com Sucesso” se atingir o terminal chamado (no terminal chamador ouve-se o “sinal de chamar”).

$$\text{Acessibilidade do Serviço [\%]} = \frac{\sum \text{Chamadas Estabelecidas com Sucesso}}{\sum \text{Tentativas de Estabelecimento de Chamadas}} \times 100$$

2.2.2.2 TEMPO DE ESTABELECIMENTO DE CHAMADAS (VOZ E VIDEOTELEFONIA)

O tempo de estabelecimento de chamadas é o período de tempo que decorre entre o envio de um endereço de destino completo (número de telefone de destino) e o estabelecimento da chamada.

$$\text{Tempo de Estabelecimento de Chamadas [s]} = t_{\text{sinal_chamar}} - t_{\text{envio_endereço}}$$

$t_{\text{envio_endereço}}$ – momento em que o utilizador pressiona o botão de envio.

$t_{\text{sinal_chamar}}$ – momento em que a chamada é estabelecida com sucesso (no terminal chamador ouve-se o “sinal de chamar”).

2.2.2.3 TAXA DE TERMINAÇÃO DE CHAMADAS (VOZ E VIDEOTELEFONIA)

A taxa de terminação de chamadas é a probabilidade de uma chamada, depois de estabelecida com sucesso, se manter activa durante um determinado período de tempo, terminando de forma normal, ou seja, de acordo com a vontade do utilizador.

$$\text{Taxa de Terminação de Chamadas [\%]} = \frac{\sum \text{Chamadas com Terminação Normal}}{\sum \text{Chamadas Estabelecidas com Sucesso}} \times 100$$

2.2.2.4 QUALIDADE ÁUDIO DE CHAMADA (VOZ E VIDEOTELEFONIA)

Este indicador quantifica a perceptibilidade da conversação durante uma chamada (de voz ou de videotelefonía). São avaliados os dois sentidos da comunicação e apenas são consideradas as chamadas com terminação normal.

A avaliação deste indicador de QoS consiste na comparação da amostra original de áudio enviada, $X(t)$, com a correspondente amostra degradada recebida, $Y(t)$, no outro extremo da chamada, através da aplicação do algoritmo PESQ³. O índice objectivo de qualidade áudio obtido através da aplicação deste algoritmo é próximo do que se obteria se a amostra $Y(t)$ fosse submetida à apreciação subjectiva de um painel de utilizadores do serviço.

$$\text{Qualidade \u00c1udio de Chamada}_{\text{lado A}} [MOS_{LQO}] = f\{X_B(t); Y_A(t)\}$$

$$\text{Qualidade \u00c1udio de Chamada}_{\text{lado B}} [MOS_{LQO}] = f\{X_A(t); Y_B(t)\}$$

lado A; lado B – designa\u00e7\u00e3o dos dois extremos de uma chamada de voz.

MOS_{LQO} – escala de quantifica\u00e7\u00e3o da qualidade \u00e1udio percebida (*Mean Opinion Score – Listening-only Quality Objective*).

f – fun\u00e7\u00e3o correspondente \u00e0 aplica\u00e7\u00e3o de um algoritmo de c\u00e1lculo e fun\u00e7\u00e3o de convers\u00e3o dos resultados em valores MOS_{LQO}.

X_A(t); X_B(t) – amostra original de \u00e1udio enviada a partir do lado A (B).

Y_A(t); Y_B(t) – amostra degradada de \u00e1udio recebida no lado A (B), resultante da transmiss\u00e3o da amostra original *X_B(t)* (*X_A(t)*).

Os resultados da aplica\u00e7\u00e3o do algoritmo s\u00e3o apresentados numa escala do tipo MOS (*Mean Opinion Score*) de 1 a 5 designada por MOS_{LQO} (*Mean Opinion Score – Listening-only Quality Objective*), tal como indicado na Tabela 2. A escala MOS quantifica o esfor\u00e7o necess\u00e1rio para se perceber uma comunica\u00e7\u00e3o. Apresenta como limites os valores 0 (zero), quando n\u00e3o h\u00e1 comunica\u00e7\u00e3o, e 5 (cinco), quando a comunica\u00e7\u00e3o \u00e9 perfeita. O valor “zero” nunca aparece nos resultados porque apenas s\u00e3o consideradas situa\u00e7\u00f5es em que a liga\u00e7\u00e3o foi estabelecida e mantida durante um per\u00edodo pr\u00e9-definido. O “cinco” tamb\u00e9m n\u00e3o ocorre nos resultados porque os CoDec⁴, utilizados pelas redes m\u00f3veis, n\u00e3o possibilitam t\u00e3o elevado valor de qualidade de voz (a qualidade de voz obtida com os CoDec normalmente utilizados apresenta valores de MOS inferiores a 4,5).

Tabela 2 - Escala MOS_{LQO} / MOS_{VQO}

MOS	Qualidade
5	Excelente
4	Boa
3	Aceit\u00e1vel
2	Pobre
1	M\u00e1

³ PESQ – *Perceptual Evaluation of Speech Quality*. Recomendado pelo ITU-International Telecommunications Union (ITU-T Recommendation P.862 (02/2001); ITU-T Recommendation P.862.1 (11/2003)).

⁴ CoDec – Codificador/Descodificador.

Nas situações em que em cada sentido da mesma chamada sejam enviadas e recebidas várias amostras de áudio $\{X_1(t), X_2(t), \dots, X_n(t); Y_1(t), Y_2(t), \dots, Y_n(t)\}$, o indicador *Qualidade Áudio de Chamada* é calculado através da média aritmética dos valores obtidos pela aplicação da expressão acima apresentada a cada par de amostras de áudio, ou seja:

$$\text{Qualidade Áudio de Chamada}_{\text{lado A}} [MOS_{LQO}] = \frac{\sum_{i=1}^n f\{X_{iB}(t); Y_{iA}(t)\}}{n}$$

$$\text{Qualidade Áudio de Chamada}_{\text{lado B}} [MOS_{LQO}] = \frac{\sum_{i=1}^n f\{X_{iA}(t); Y_{iB}(t)\}}{n}$$

2.2.2.5 QUALIDADE VÍDEO DE CHAMADA DE VIDEOTELEFONIA

Este indicador quantifica a qualidade visual da comunicação, durante uma chamada de videotelefonía. São avaliados, em simultâneo, os dois sentidos da comunicação e apenas são consideradas as chamadas com terminação normal.

O processo de avaliação deste indicador é idêntico ao utilizado para a *Qualidade Áudio de Chamada*, diferindo no facto de ocorrer em **full-duplex**, ou seja, em simultâneo nos dois sentidos da comunicação e enquanto decorrer a chamada de teste. Esta funcionalidade reproduz a situação real da utilização do serviço de videotelefonía.

$$\text{Qualidade Vídeo de Chamada}_{\text{lado A}} [MOS_{VQO}] = f\{W_B(t); Z_A(t)\}$$

$$\text{Qualidade Vídeo de Chamada}_{\text{lado B}} [MOS_{VQO}] = f\{W_A(t); Z_B(t)\}$$

lado A; lado B – designação dos dois extremos de uma chamada de videotelefonía.

MOS_{VQO} – escala de quantificação da qualidade visual percebida (*Mean Opinion Score – Visual Quality Objective*).

f – função correspondente à aplicação de um algoritmo de cálculo e função de conversão dos resultados em valores *MOS_{VQO}*.

W_A(t); W_B(t) – amostra original de vídeo enviada a partir do lado A (B).

Z_A(t); Z_B(t) – amostra degradada de vídeo recebida no lado A (B), resultante da transmissão da amostra original *W_B(t)* (*W_A(t)*).

Actualmente não existe nenhum algoritmo recomendado por organismos de normalização internacionais para avaliação da qualidade vídeo. Contudo, alguns fabricantes de sistemas de medida desenvolveram os seus próprios algoritmos, tendo em conta as linhas orientadoras traçadas pelo ETSI (ETSI TR 102 493 V1.1.1 (2005-08)) e pelo VQEG – *Video Quality Experts Group* (“*Multimedia Group Test Plan*”, *Draft Version 1.16, February 7, 2007*). É o caso da *SwissQual, AG*, fornecedora do sistema de teste e medida utilizado neste estudo, que utiliza nos seus produtos um algoritmo proprietário designado *VQuad - Objective Model for Video Quality Assessment*.

Na *Figura 25* apresenta-se o diagrama funcional do algoritmo VQuad. Este algoritmo baseia-se num modelo do tipo referência total (*full-reference*), ou seja, na comparação perceptual da amostra degradada de vídeo com a sua referência. Uma sequência (amostra) de vídeo de referência é transmitida através da rede móvel em teste. No destino, procede-se à captura da sequência de vídeo e à sua validação objectiva através da comparação perceptual com a sequência de vídeo de referência. O resultado é um índice global de qualidade visual (MOS_{VQO}) e outros parâmetros de qualidade específicos (*block distortion, blurring, jerkiness, level, PSNR, frame jitter, frame loss, lip-sync, etc.*).

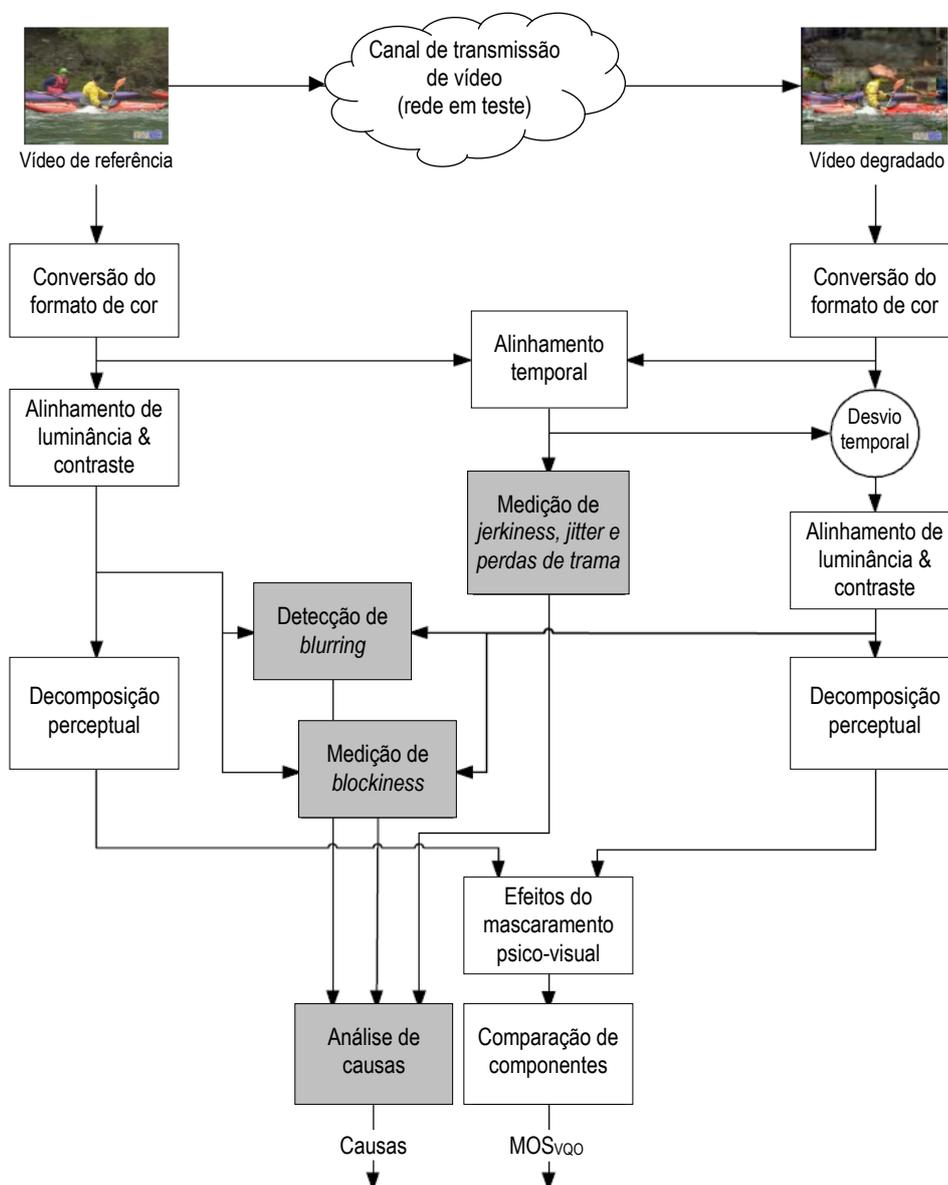


Figura 25 – Diagrama funcional do algoritmo VQuad (SwissQual, AG)

O índice global de qualidade visual, resultante da aplicação do algoritmo VQuad, é apresentado numa escala do tipo MOS (*Mean Opinion Score*) de 1 a 5 designada por MOS_{VQO} (*Mean Opinion Score – Visual Quality Objective*), tal como indicado na *Tabela 2*.

Nas situações em que em cada sentido da mesma chamada sejam enviadas e recebidas várias amostras de vídeo $\{W_1(t), W_2(t), \dots, W_n(t); Z_1(t), Z_2(t), \dots, Z_n(t)\}$, o indicador *Qualidade Vídeo de Chamada* é obtido através da média aritmética dos valores obtidos pela aplicação da equação anteriormente apresentada a cada par de amostras de vídeo, ou seja:

$$\text{Qualidade Vídeo de Chamada}_{\text{lado A}} [MOS_{VQO}] = \frac{\sum_{i=1}^n f\{W_{i_B}(t); Z_{i_A}(t)\}}{n}$$

$$\text{Qualidade Vídeo de Chamada}_{\text{lado B}} [MOS_{VQO}] = \frac{\sum_{i=1}^n f\{W_{i_A}(t); Z_{i_B}(t)\}}{n}$$

2.3 PERFIS DE MEDIDA⁵

Os perfis de medida definem um conjunto de condições, que devem ser acauteladas, para a correcta aferição da qualidade dos serviços e garantia da fiabilidade dos testes. Contemplam ainda a normalização de processos e a definição de parâmetros de teste e medida, de forma a permitirem a exequibilidade das análises e a comparabilidade dos resultados obtidos.

2.3.1 ASPECTOS GERAIS

Os testes são realizados de forma totalmente automática com recurso ao sistema *Diversity* (durante a execução de um teste não há qualquer intervenção ou decisão humana).

As medidas são realizadas em movimento, utilizando viaturas automóveis com antenas exteriores (sem ganho), e com selecção automática das infra-estruturas GSM e UMTS. Todos os parâmetros recolhidos são georreferenciados, permitindo a sua posterior representação em cartografia digital.

⁵ Os perfis de medida, aqui apresentados, têm por base as especificações técnicas ETSI TS 102 250, nomeadamente a parte 5 (ETSI TS 102 250-5 V2.2.1 (2011-04)), e ETSI EG 202 057, nomeadamente as partes 3 e 4 (ETSI EG 202 057-3 V1.1.1 (2005-04) e ETSI EG 202 057-4 V1.2.1 (2008-07)).

2.3.2 COBERTURA

A avaliação da cobertura radioelétrica das redes efectua-se por medição dos níveis de sinal em *downlink*, RxLev (*Received signal Level*) para GSM e CPICH RSCP (*Common Pilot Channel Received Signal Code Power*) para WCDMA, ao longo de cada trajecto em estudo.

As medidas são efectuadas com um equipamento adequado e dedicado exclusivamente a esta tarefa – um *Scanner de RF* – para que os valores medidos correspondam aos níveis efectivos de sinal. O equipamento de medida dispõe de capacidade para recolher amostras de sinal de todos os canais radioelétricos GSM e WCDMA, utilizados pelos operadores em análise, com uma periodicidade de aproximadamente um segundo. Posteriormente, as amostras recolhidas são analisadas e apenas são consideradas aquelas que apresentarem os melhores valores de nível de sinal, em cada ponto e para cada tecnologia e operador.

Cada ponto de medida é georreferenciado para a posterior representação dos níveis de sinal em cartografia digital, facilitando assim a visualização dos níveis de cobertura das redes móveis nos trajectos objecto de estudo e a identificação de locais com cobertura deficiente ou inexistente.

2.3.3 SERVIÇOS DE TELEFONIA

Estes serviços são avaliados extremo-a-extremo, utilizando-se a “chamada” como unidade base de teste.

As chamadas de teste são estabelecidas entre dois equipamentos terminais, em que pelo menos um é do tipo móvel (*MS – Mobile Station* ou *UE – User Equipment*). Este MS ou UE desloca-se no trajecto/local em estudo, designando-se MOC (*Mobile Originated Call*) as chamadas originadas neste equipamento terminal.

Para minimizar a incerteza, que acompanha sempre os processos de medida, o segundo extremo das chamadas de teste deve apresentar bons níveis e elevada estabilidade de desempenho. Pretende-se que o impacto deste extremo nos indicadores de desempenho dos serviços em análise seja mínimo. As soluções passam pela utilização de terminais de rede fixa (RDIS), para avaliação do desempenho do serviço de voz, e de terminais móveis (UE), para avaliação do desempenho do serviço de videotelefonia. Os UE são mantidos estáticos em locais com adequada (boa) cobertura radioelétrica, interferência mínima e com 100% (virtualmente) de probabilidade de acesso ao serviço de

videotelefonia. As chamadas originadas neste extremo, no terminal RDIS ou no UE, e terminadas no terminal móvel que se encontra no local em teste, designam-se MTC (*Mobile Terminated Call*).

Tendo em vista a comparação do desempenho dos vários operadores (*benchmark*), nas sessões de teste é utilizada uma janela temporal fixa para realização de cada chamada. Quando ocorre uma falha de chamada, tanto na fase de estabelecimento como na fase de conversação, a chamada seguinte só tem início quando atingir a janela temporal seguinte.

2.3.3.1 SERVIÇO DE VOZ

A análise do serviço de voz, num determinado local, inclui as capacidades de estabelecimento e terminação de chamadas, bem como a integridade da comunicação.

Como se pretende estudar a utilização normal do serviço de voz a duração das chamadas de teste apresenta um valor próximo da duração média das chamadas cursadas nas redes. A janela temporal contempla, além da própria duração de chamada, períodos que permitem o estabelecimento e desligamento da chamada e também uma pausa de 30 segundos entre chamadas consecutivas, para prevenir eventuais problemas de rede relacionados com sinalização ou gestão da mobilidade.

Após o início de uma chamada de teste, analisa-se a integridade da comunicação – qualidade áudio – alternadamente em cada sentido, independentemente do extremo em que se iniciou a chamada.

Os parâmetros de teste utilizados para análise do serviço de voz apresentam os seguintes valores:

- ▶ Relação entre MOC/MTC: 1/1;
- ▶ Duração das chamadas de teste: 120 segundos;
- ▶ Janela temporal para realização de uma chamada de teste: 180 segundos;
- ▶ Tempo máximo para estabelecimento de uma chamada: 20 segundos.

2.3.3.2 SERVIÇO DE VIDEOTELEFONIA

São analisadas as capacidades de estabelecimento e terminação de chamadas, bem como a integridade da comunicação – qualidade áudio e vídeo. A qualidade áudio é analisada alternadamente em cada sentido da comunicação, independentemente do lado que iniciou a chamada de teste, enquanto a qualidade vídeo é analisada simultaneamente nos dois sentidos da comunicação.

Os parâmetros de teste para análise do serviço de videotelefonia são semelhantes aos utilizados para o serviço de voz e apresentam os seguintes valores:

- ▶ Relação entre MOC/MTC: 1/1;
- ▶ Duração das chamadas de teste: 120 segundos;
- ▶ Janela temporal para realização de uma chamada de teste: 180 segundos;
- ▶ Tempo máximo para estabelecimento de uma chamada: 20 segundos;
- ▶ Tempo máximo para estabelecimento da comunicação áudio e vídeo: 30 segundos.

2.4 SISTEMA DE TESTE/MEDIDA E PÓS-PROCESSAMENTO

Nas medidas no terreno e no seu pós-processamento foi utilizado o sistema *Diversity/NetQual*. Trata-se de um conjunto de ferramentas desenhadas especificamente para análise e *benchmarking* de sistemas de comunicações móveis. O sistema é composto pelos seguintes módulos:

- a. **Diversity** – Unidade Móvel, com *scanner de RF* e equipamentos terminais móveis comerciais (no estudo realizado foram utilizados terminais *Nokia N95*);
- b. **Land Unit** – Unidade Fixa, com cartas de interface RDIS, utilizada para testes de voz;
- c. **Video Call Server** – Unidade Estática, com equipamentos terminais móveis comerciais (*Nokia 6680*), utilizado para testes de videotelefonia;
- d. **Media Server** – Unidade Fixa, servidor para testes de dados e de *videostreaming*;
- e. **NQDI** – Sistema de pós-processamento, análise e reporte das medidas realizadas.

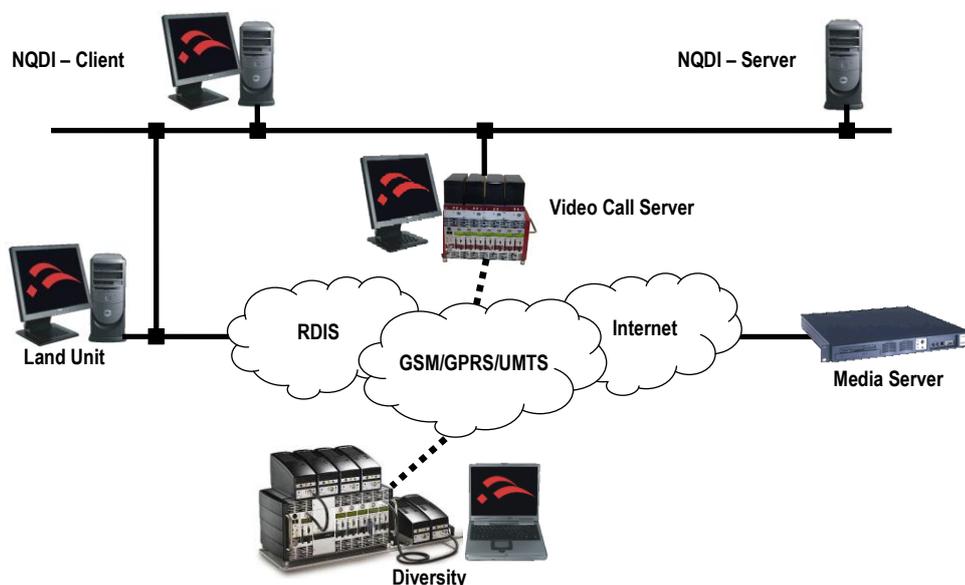


Figura 26 – Arquitectura do sistema *Diversity/NetQual*