ANACOM

ICP - Autoridade Nacional de Comunicações
Av. José Malhoa, nº12 - 1099-017 Lisboa
Portugal

Internet - http://www.anacom.pt
e-mail - info@anacom.pt
Telefone - 217211000
Fax - 217211001

Esta informação encontra-se publicada no sítio da Anacom na Internet em:

http://www.anacom.pt/template12.jsp?categoryId=272223

Data de publicação – 17.5.2008

Sistemas de Comunicações Móveis

GSM/UMTS

Aferição da Qualidade de Serviço

Avaliação da QoS dos Serviços de Voz (GSM), Videotelefonia (UMTS) e Cobertura das Redes (GSM e WCDMA) no Serviço Alfa Pendular da CP
(Eixo Ferroviário Braga-Porto-Lisboa-Faro)

Março de 2008

SIGLAS E ACRÓNIMOS

CoDec — Codificador/Descodificador.

CPICH RSCP — *Common Pilot Channel, Received Signal Code Power* – Nível de sinal recebido por um terminal móvel (WCDMA).

ETSI — *European Telecommunications Standards Institute* – Instituto Europeu de Normas de Telecomunicações.

GSM — *Global System for Mobile communications* – Sistema de Comunicações Móveis de segunda geração (2G).

ITU — *International Telecommunications Union* – União Internacional de Telecomunicações.

MOS — *Mean Opinion Score* – Índice de qualidade que quantifica o esforço necessário para se perceber uma comunicação do tipo extremo-a-extremo. Apresenta como limites os valores 0 (zero), quando não há comunicação, e 5 (cinco), quando a comunicação é perfeita. O valor "zero" não aparece nos resultados porque apenas são consideradas situações em que a ligação foi estabelecida e mantida durante um período pré-definido. O "cinco" também não ocorre nos resultados porque os *CoDec*, utilizados pelas redes móveis, não possibilitam tão elevado valor de qualidade de voz ou de vídeo (a qualidade de voz ou de vídeo obtida com os *CoDec* normalmente utilizados apresenta valores MOS inferiores a 4,5).

PESQ — *Perceptual Evaluation of Speech Quality* – Algoritmo utilizado na análise da qualidade áudio de uma comunicação de voz (Recomendado pelo ITU: *ITU-T Recommendation P.862 (02/2001)*; *ITU-T Recommendation P.862.1 (11/2003)*).

RDIS — *Rede Digital com Integração de Serviços* – Tecnologia utilizada na rede fixa de acesso.

RF — Rádio Frequência.

RxLev — *Received signal level* – Nível de sinal recebido por um terminal móvel (GSM).

Scanner — Equipamento de medida que permite recolher níveis de sinal radioeléctrico para cada canal de uma banda de frequência.

SQuad-LQ — *SwissQual's speech quality algorithm for Listening Quality* – Algoritmo desenvolvido pela *SwissQual* para análise da qualidade áudio de uma comunicação.

UMTS — *Universal Mobile Telecommunications System* – Sistema de Comunicações Móveis de terceira geração (3G).

VQuad — *Objective Model for Video Quality Assessment* – Algoritmo utilizado na análise da qualidade vídeo de uma comunicação (desenvolvido pela *SwissQual*).

WCDMA — *Wideband Code Division Multiple Access* – Tecnologia utilizada na componente radioeléctrica dos sistemas de comunicações UMTS.

Índice

I Sumário Executivo 4
I.I Enquadramento Geral 4
I.II Principais Resultados e Conclusões 6

1 Aferição da Qualidade de Serviço 13
1.1 Objectivo 13
1.2 Serviços Analisados 13
1.2.1 Serviços de Telefonia: 13
1.2.2 Independente dos Serviços: 13

2 Metodologia 14
2.1 Aspectos Fundamentais 14
2.2 Principais Indicadores de QoS 14
2.2.1 Independentes do Serviço 15
2.2.2 Serviços de Telefonia 16
2.3 Perfis de Medida 20
2.3.1 Aspectos Gerais 20
2.3.2 Cobertura 20
2.3.3 Serviços de Telefonia 21
2.4 Sistema de Teste/Medida e Pós-Processamento 23

3 Amostra do Estudo 24
3.1 Locais Analisados 24
3.2 Dimensão da Amostra 24
3.3 Condições de Recolha de Dados 24

4 Resultados 25
4.1 Serviço Alfa Pendular no Eixo Ferroviário Braga-Porto-Lisboa 25
4.1.1 Serviço de Voz (GSM) 25
4.1.2 Serviço de Videotelefonia (UMTS) 27
4.1.3 Cobertura das Redes 30
4.2 Serviço Alfa Pendular no Eixo Ferroviário Lisboa-Faro 38
4.2.1 Serviço de Voz (GSM) 38
4.2.2 Serviço de Videotelefonia (UMTS) 40
4.2.3 Cobertura das Redes 43
4.3 Global do Serviço Alfa Pendular (Braga-Porto-Lisboa-Faro) 51
4.3.1 Serviço de Voz (GSM) 51
4.3.2 Serviço de Videotelefonia (UMTS) 53
4.3.3 Cobertura das Redes 56

I SUMÁRIO EXECUTIVO

I.I ENQUADRAMENTO GERAL

A Autoridade Nacional de Comunicações (ANACOM) realizou uma avaliação da qualidade dos serviços móveis de voz (GSM), videotelefonia (UMTS) e cobertura das redes (GSM e WCDMA), disponibilizados pelos operadores OPTIMUS, TMN e VODAFONE nos comboios que efectuam o Serviço Alfa Pendular da CP-Caminhos de Ferro Portugueses, E.P.E. (eixo ferroviário Braga-Porto-Lisboa-Faro), através da análise de parâmetros técnicos que traduzem a percepção de qualidade na óptica do consumidor.

Foram objecto de estudo os principais indicadores de qualidade, tendo em conta a perspectiva do utilizador e os serviços analisados:

1. Cobertura das Redes – Disponibilidade das redes radioeléctricas GSM e WCDMA (UMTS);
2. Acessibilidade do Serviço (de voz ou de videotelefonia) – probabilidade de sucesso no estabelecimento de chamadas;
3. Tempo de Estabelecimento de Chamadas (de voz ou de videotelefonia) – período de tempo que a rede demora a estabelecer a comunicação, após o envio correcto do pedido (número de telefone de destino);
4. Taxa de Terminação de Chamadas (de voz ou de videotelefonia) – Probabilidade de uma chamada, depois de estabelecida com sucesso, se manter activa durante um período de tempo, terminando de forma normal, ou seja, de acordo com a vontade do utilizador;
5. Qualidade Áudio de Chamada (de voz ou de videotelefonia) – perceptibilidade da conversação durante uma chamada;
6. Qualidade Vídeo de Chamada (Videotelefonia) – perceptibilidade da componente vídeo da comunicação.

A metodologia seguida neste estudo assenta na realização de testes de campo, efectuados na perspectiva do utilizador com recurso a um sistema automático de medida, reflectindo os vários aspectos que afectam a qualidade dos serviços (medições extremo-a-extremo). As medições foram efectuadas em igualdade de condições para os três operadores, nomeadamente em simultâneo, nos mesmos locais e com as mesmas parametrizações, permitindo uma análise comparativa dos desempenhos observados.

As medidas de campo decorreram, no interior dos comboios durante o normal funcionamento do Serviço Alfa Pendular da CP, em dias úteis de 18 de Fevereiro a 11 de Março de 2008. Foram efectuadas 2.963 chamadas de teste e 399.080 medidas de sinal radioeléctrico, o que corresponde a aproximadamente 27 horas de medidas ao longo de 2.800 quilómetros.

A amostra utilizada permitiu que os resultados globais obtidos, por cada operador, apresentem erros de precisão máximos inferiores a 5,2%, com nível de confiança de 95%.

Face à taxa de penetração destes serviços, à diversidade de equipamentos terminais utilizados e à própria subjectividade inerente a cada utente, torna-se impossível a reprodução rigorosa das condições de interacção de cada consumidor com as redes. Neste contexto, os resultados deste estudo devem ser encarados como um indicador do comportamento global das redes no Serviço Alfa Pendular da CP, não se pretendendo avaliar o cumprimento das licenças por parte dos operadores móveis. A transposição/extrapolação dos resultados obtidos para situações específicas requer alguma prudência, sob risco de, se tal não for feito, serem tomadas conclusões enviesadas sobre a realidade em causa.

As opções técnicas e metodológicas tomadas neste estudo influenciaram directamente os resultados obtidos e devem ser tidas em consideração na análise dos resultados, designadamente as seguintes:

- A realização de testes foi suportada exclusivamente numa solução técnica (*hardware* e *software*), processando-se de forma totalmente automática, permitindo o estabelecimento homogéneo das condições de aferição para os três operadores e a eliminação de subjectividade inerente ao utilizador humano;

- Foram utilizados equipamentos terminais *NOKIA 6680*;

- Os testes foram realizados no interior dos comboios, quando estes efectuavam o Serviço Alfa Pendular no eixo ferroviário Braga-Porto-Lisboa-Faro;

- A duração das chamadas, tanto em voz como em videotelefonia, foi de 120 segundos;

- Os testes de voz foram realizados com selecção manual da infra-estrutura 2G (GSM), enquanto que os testes de videotelefonia foram realizados com selecção automática de infra-estrutura 2G ou 3G (GSM/UMTS);

- Os indicadores de cobertura, em particular a cobertura WCDMA, não têm em consideração a carga das redes (número de utilizadores em simultâneo e tipo de serviços utilizados);

- Os resultados do estudo reflectem apenas o comportamento das redes no Serviço Alfa Pendular, nos momentos em que foram efectuadas as medidas, não podendo ser retiradas quaisquer conclusões para outros serviços prestados pela CP, mesmo que sejam prestados no eixo ferroviário objecto de análise neste estudo;

- Por outro lado, os operadores estão em permanente melhoramento das suas redes. As intervenções técnicas necessárias a esses melhoramentos podem provocar, na área geográfica de intervenção, degradações momentâneas do serviço.

I.II PRINCIPAIS RESULTADOS E CONCLUSÕES

Os resultados registados, pelos indicadores de qualidade de serviço analisados neste estudo, mostram diferenças significativas entre os sistemas de comunicações móveis GSM e UMTS. De forma geral, estes sistemas apresentam melhor cobertura em GSM e um melhor desempenho do serviço de voz.

Comparando os resultados do serviço de voz, obtidos neste estudo com os observados no estudo realizado em Novembro de 2005, observa-se uma evolução positiva, com os indicadores *Acessibilidade do Serviço* e *Taxa de Terminação de Chamadas* a apresentarem melhorias globais da ordem dos 15%.

No entanto, os resultados globais deste estudo ficam ainda aquém dos resultados observados nos eixos rodoviários (estudo realizado em Setembro/Outubro de 2007), nomeadamente no que respeita a cobertura das redes e desempenho do serviço de voz.

Coberturas das Redes GSM e WCDMA

Os sistemas de comunicações móveis apresentam melhor cobertura em GSM do que em WCDMA, nos dois eixos ferroviários estudados. Os níveis mais baixos ocorrem na tecnologia WCDMA e no eixo ferroviário Lisboa-Faro, sendo também mais acentuadas as diferenças de desempenho dos operadores (Figura 1 e Figura 2).

Os níveis de cobertura observados, nos eixos ferroviários estudados, são ainda inferiores aos registados nos eixos rodoviários (estudo realizado em Setembro/Outubro de 2007), tanto em GSM como em WCDMA.

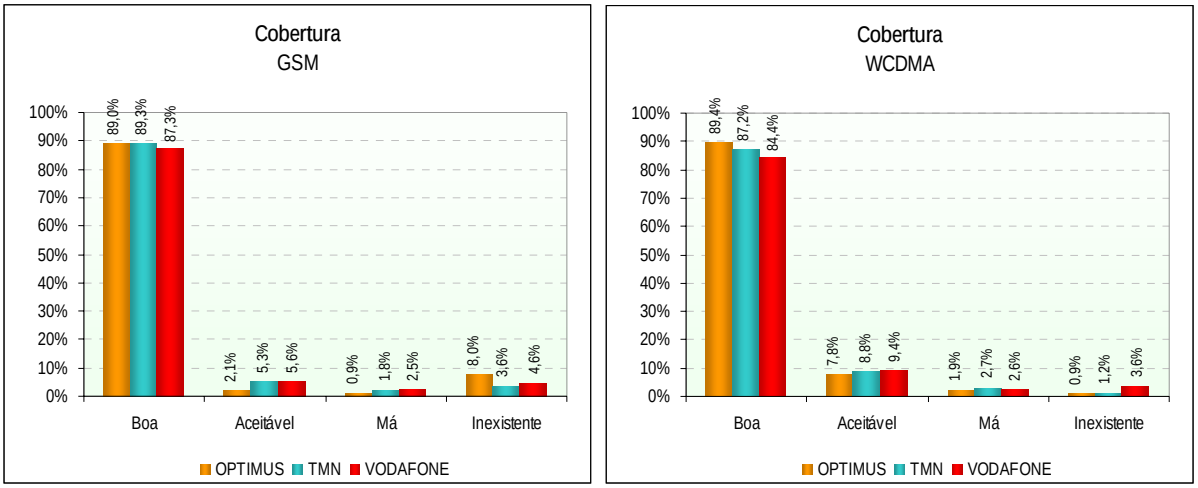


Figura 1 – Indicador *Cobertura*, no Serviço Alfa Pendular no eixo ferroviário Braga-Porto-Lisboa.

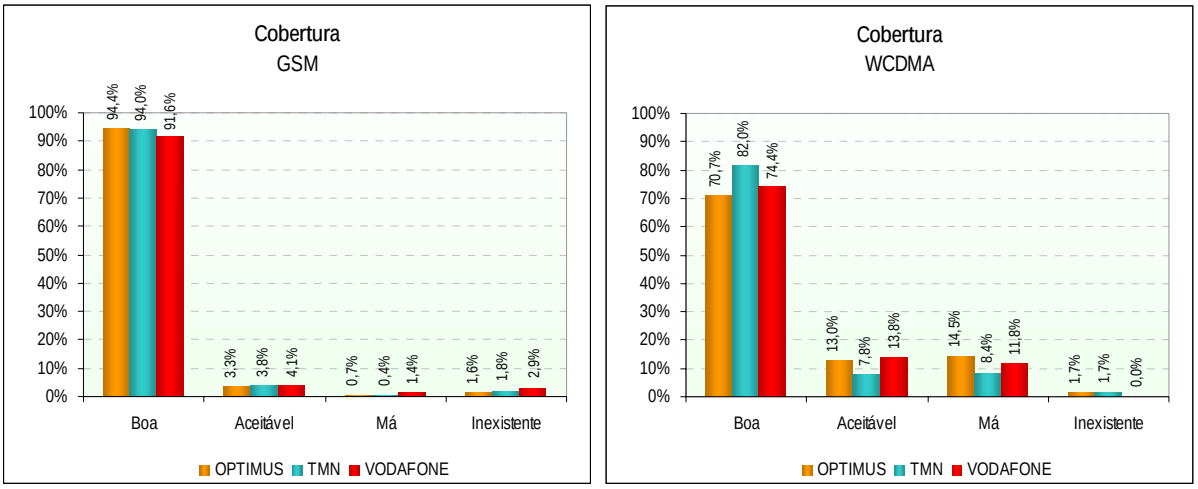


Figura 2 – Indicador *Cobertura*, no Serviço Alfa Pendular no eixo ferroviário Lisboa-Faro.

Serviço de Voz (GSM)

O desempenho do serviço de voz apresenta diferenças consideráveis entre operadores e locais estudados, em particular no que respeita a *Acessibilidade do Serviço* e a *Taxa de Terminação de Chamadas*.

No eixo Braga-Porto-Lisboa, o operador TMN apresenta o melhor desempenho, com níveis de 95% para a *Acessibilidade do Serviço* e de 94% para a *Taxa de Terminação de Chamadas*. No extremo oposto encontra-se a OPTIMUS com níveis de 80% e 78%, respectivamente para *Acessibilidade do Serviço* e *Taxa de Terminação de Chamadas* (Figura 3).

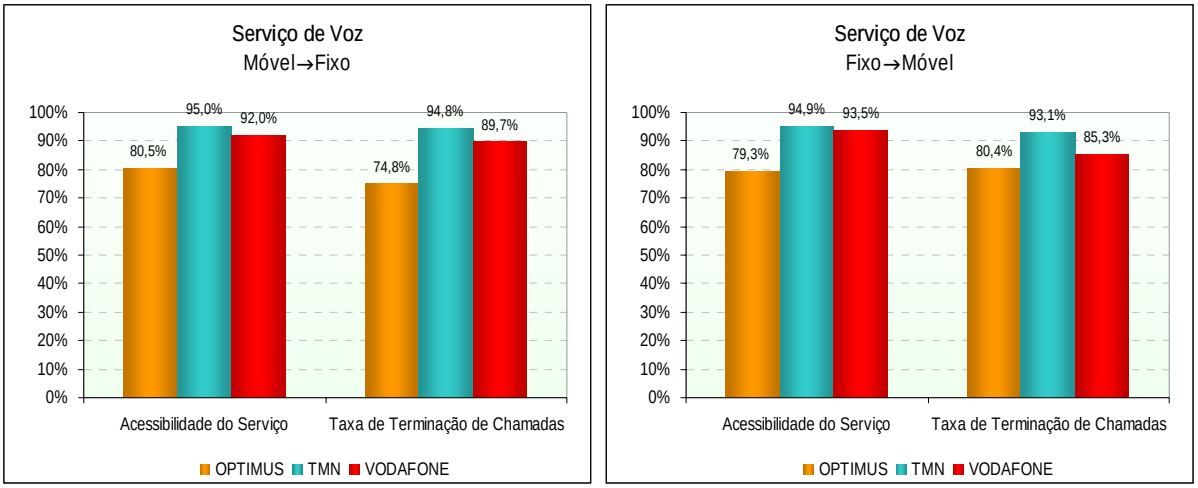


Figura 3 – Indicadores *Acessibilidade de Serviço* e *Taxa de Terminação de Chamadas*, no Serviço Alfa Pendular no eixo ferroviário Braga-Porto-Lisboa.

Por sua vez, no eixo Lisboa-Faro o melhor desempenho foi registado pelo operador OPTIMUS, com cerca de 96% das chamadas de teste estabelecidas com sucesso e, destas, também cerca de 96% terminaram de forma normal, ou seja, a ligação manteve-se durante os 120 segundos predefinidos. A TMN e a VODAFONE apresentam desempenhos inferiores, com níveis de aproximadamente 89% e 88% para os mesmos indicadores (Figura 4).

Embora os resultados globais destes indicadores, *Acessibilidade do Serviço* e *Taxa de Terminação de Chamadas*, apresentem uma evolução positiva, face aos resultados registados no estudo realizado em Novembro de 2005, ficam ainda aquém dos resultados observados nos eixos rodoviários (estudo realizado em Setembro/Outubro de 2007).

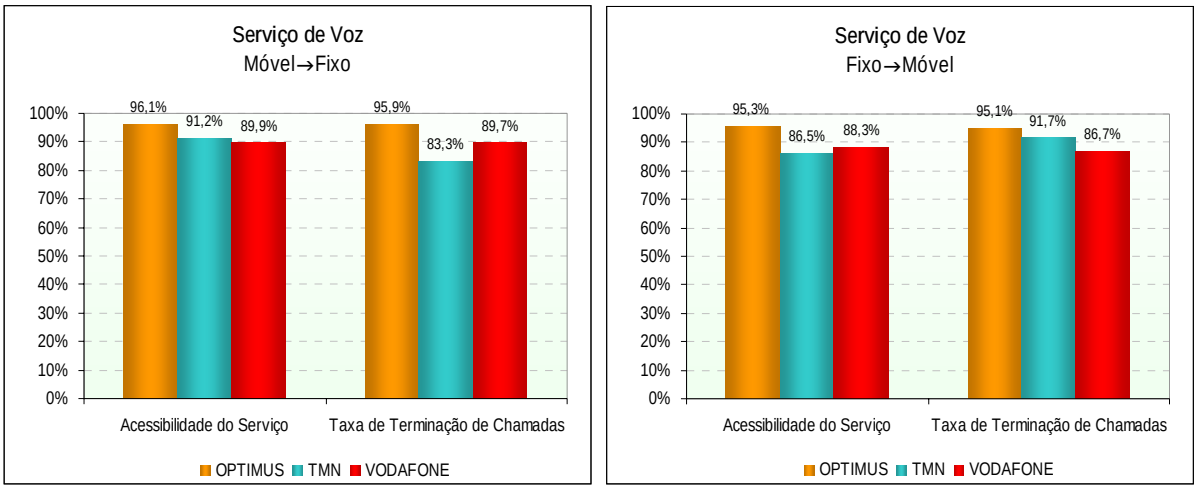


Figura 4 – Indicadores *Acessibilidade de Serviço* e *Taxa de Terminação de Chamadas*, no Serviço Alfa Pendular no eixo ferroviário Lisboa-Faro.

Os tempos médios de estabelecimento de chamadas encontram-se dentro dos patamares expectáveis para este serviço, sendo pouco expressivas as diferenças entre os eixos ferroviários e operadores

estudados. Os melhores resultados foram registados pela VODAFONE (Figura 5 e Figura 6).

As chamadas de voz, terminadas de forma normal (120 segundos de duração), apresentam boa *Qualidade Áudio Média*, não se observando diferenças significativas entre operadores ou locais objecto de análise (Figura 7 e Figura 8). Contudo, este indicador apresenta níveis inferiores aos registados nos eixos rodoviários, no estudo realizado em Setembro/Outubro de 2007.

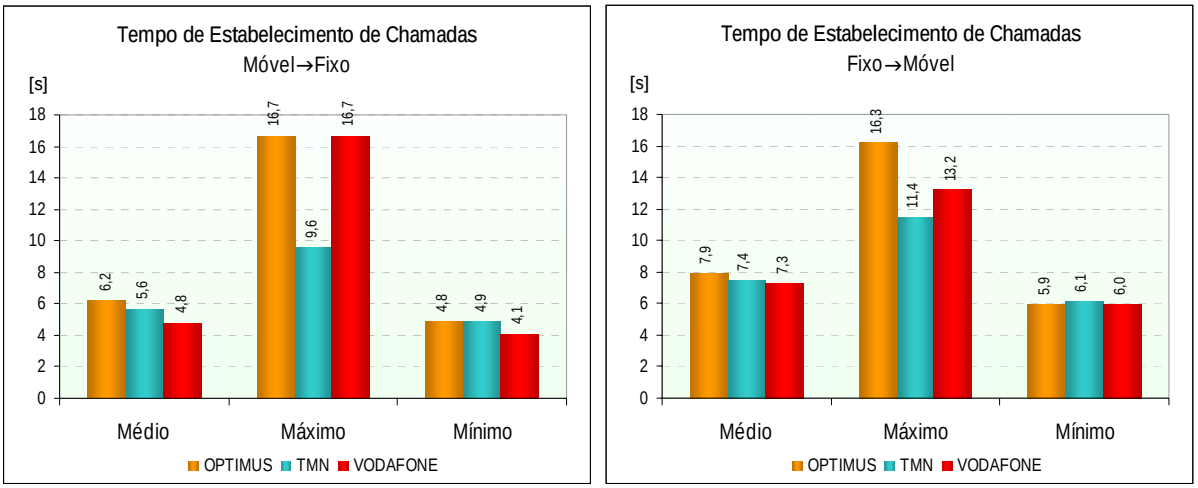


Figura 5 – Indicador *Tempo de Estabelecimento de Chamadas*, no Serviço Alfa Pendular no eixo ferroviário Braga-Porto-Lisboa.

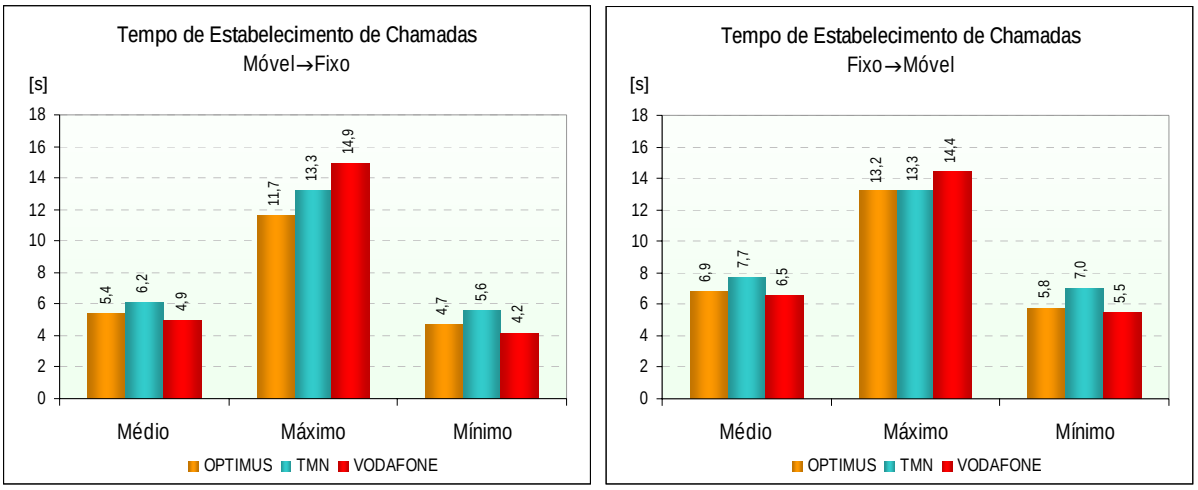


Figura 6 – Indicador *Tempo de Estabelecimento de Chamadas*, no Serviço Alfa Pendular no eixo ferroviário Lisboa-Faro.

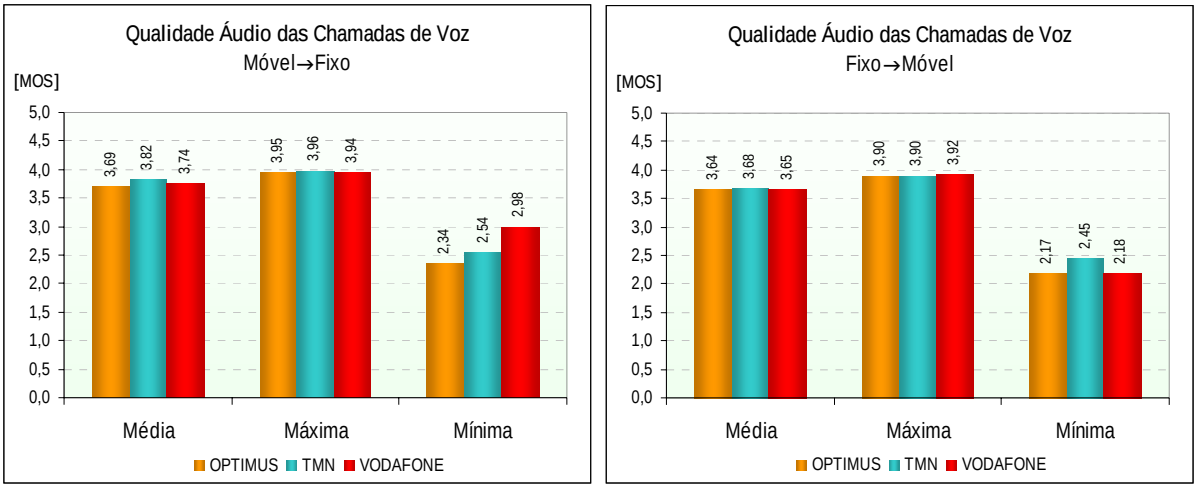


Figura 7 – Indicador *Qualidade Áudio das Chamadas*, no Serviço Alfa Pendular no eixo ferroviário Braga-Porto-Lisboa.

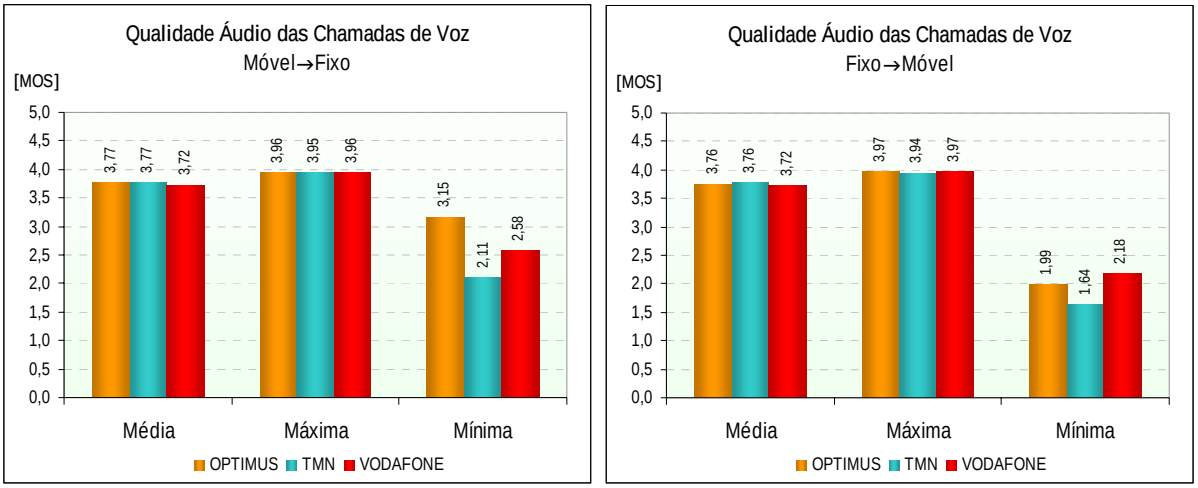


Figura 8 – Indicador *Qualidade Áudio das Chamadas*, no Serviço Alfa Pendular no eixo ferroviário Lisboa-Faro.

Serviço de Videotelefonia (UMTS)

O desempenho do serviço de videotelefonia é fortemente penalizado pela baixa *Acessibilidade ao Serviço* que as redes analisadas apresentam, nomeadamente no eixo Lisboa-Faro (Figura 9 e Figura 10). O operador VODAFONE apresenta os melhores desempenhos para este indicador, com níveis de 85% no eixo Braga-Porto-Lisboa, e de 64,6% no eixo Lisboa-Faro. A TMN apresenta os desempenhos mais baixos, com níveis de 75% e 49,5%, respectivamente para os mesmos eixos ferroviários.

O indicador *Taxa de Terminação de Chamadas* apresenta níveis bastante mais elevados do que os observados para a *Acessibilidade ao Serviço*, denotando capacidade das redes em manter as chamadas depois de estabelecidas com sucesso (Figura 9 e Figura 10). As diferenças de desempenho entre operadores são pouco significativas. Também para este indicador, os melhores desempenhos registam-se no eixo Braga-Porto-Lisboa, com os operadores a apresentarem níveis da ordem dos 95%.

Os tempos médios de estabelecimento de chamadas encontram-se dentro dos patamares expectáveis para este serviço, sendo pouco expressivas as diferenças entre os eixos ferroviários e operadores estudados. Os melhores resultados foram registados pela VODAFONE, com tempos médios de estabelecimento de chamadas de aproximadamente 7 segundos, enquanto que os tempos médios mais elevados foram registados pela TMN, com cerca de 10 segundos (Figura 9 e Figura 10).

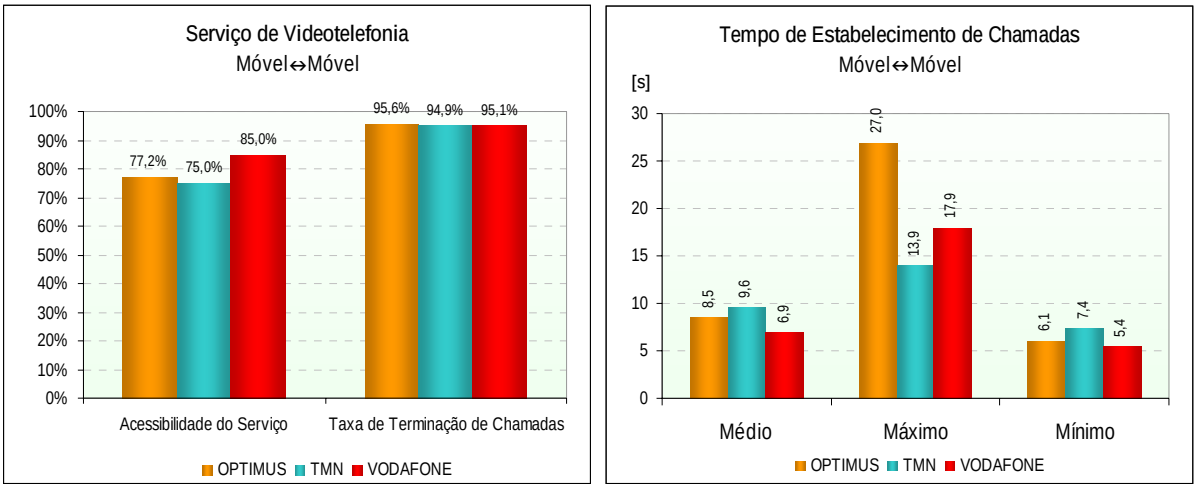


Figura 9 – Indicadores *Acessibilidade de Serviço*, *Taxa de Terminação de Chamadas* e *Tempo de Estabelecimento de Chamadas*, no Serviço Alfa Pendular no eixo ferroviário Braga-Porto-Lisboa.

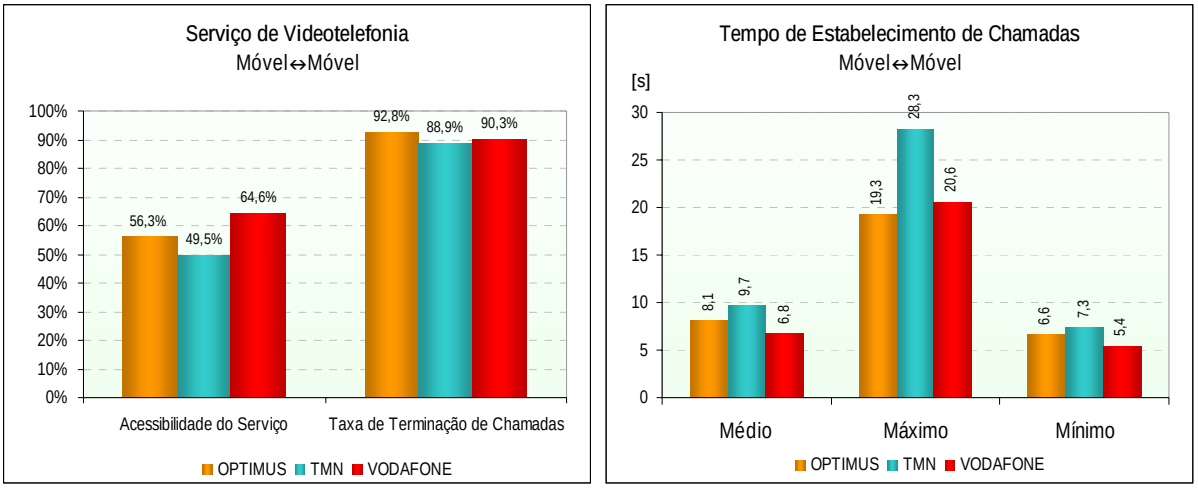


Figura 10 – Indicadores *Acessibilidade de Serviço*, *Taxa de Terminação de Chamadas* e *Tempo de Estabelecimento de Chamadas*, no Serviço Alfa Pendular no eixo ferroviário Lisboa-Faro.

As chamadas de videotelefonia, terminadas de forma normal (120 segundos de duração), apresentam boa *Qualidade Áudio* e aceitável *Qualidade Vídeo* médias, não se observando diferenças significativas entre operadores ou locais objecto de análise (Figura 11 e Figura 12).

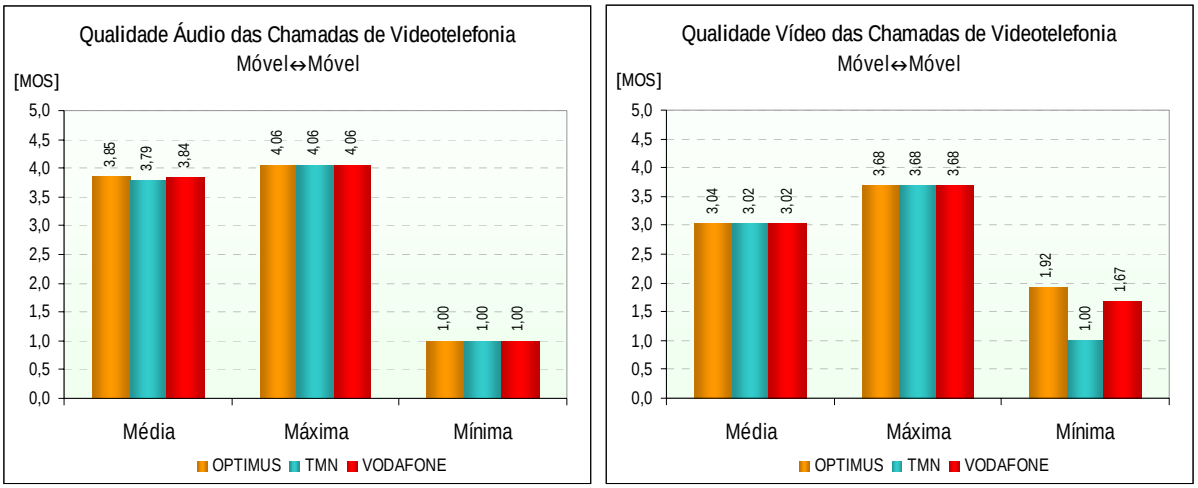


Figura 11 – Indicadores *Qualidade Áudio das Chamadas* e *Qualidade Vídeo das Chamadas*, no Serviço Alfa Pendular no eixo ferroviário Braga-Porto-Lisboa.

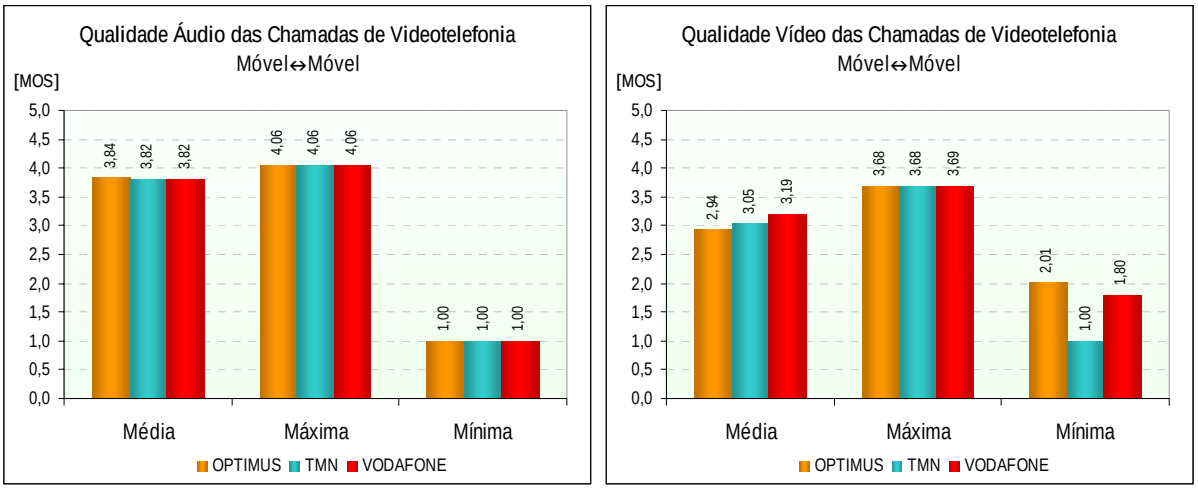


Figura 12 – Indicadores *Qualidade Áudio das Chamadas* e *Qualidade Vídeo das Chamadas*, no Serviço Alfa Pendular no eixo ferroviário Lisboa-Faro.

1 AFERIÇÃO DA QUALIDADE DE SERVIÇO

1.1 OBJECTIVO

Com este estudo pretende-se analisar a qualidade dos serviços de telecomunicações, que se suportam nas redes móveis GSM/UMTS portuguesas, numa perspectiva do utilizador, através da realização de testes automáticos extremo-a-extremo, no Serviço Alfa Pendular da CP-Caminhos de Ferro Portugueses, E.P.E. (eixo ferroviário Braga-Porto-Lisboa-Faro).

1.2 SERVIÇOS ANALISADOS

Numa avaliação da QoS, na perspectiva do utilizador, devem ser considerados os serviços que, em cada tecnologia, apresentem maior relevância para os utilizadores finais, numa lógica de mercado nacional e internacional, e que sejam normalmente disponibilizados por todos os operadores presentes no mercado.

Tendo presente este princípio orientador, e considerando a realidade actual, foram incluídos neste estudo os seguintes serviços:

1.2.1 SERVIÇOS DE TELEFONIA:

a. Serviço de Voz (GSM);

b. Serviço de Videotelefonia (UMTS);

1.2.2 INDEPENDENTE DOS SERVIÇOS:

c. Cobertura Radioeléctrica das Redes (GSM / WCDMA).

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 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 a um serviço que o utilizador pretende aceder. (*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 radioeléctrica das redes).

$$\boxed{\textit{Disponibilidade da Rede Radioeléctrica}\left[\%\right] = \frac{\textit{N.º de Medições com os Serviços Móveis Disponíveis}}{\textit{N.º Total de Medições}} \times 100\%}$$

Considera-se que os serviços móveis estão disponíveis quando os níveis de sinal radioeléctrico 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 WCDMA[1].

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 georeferenciadas 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 ≥ –85 dBm	CPICH RSCP ≥ –95 dBm
Aceitável	–95 dBm ≤ RxLev < –85 dBm	–105 dBm ≤ CPICH RSCP < –95 dBm
Má	–110 dBm ≤ RxLev < –95 dBm	–115 dBm ≤ CPICH RSCP < –105 dBm
Inexistente	RxLev < –110 dBm	CPICH RSCP < –115 dBm

[1] *Wideband Code Division Multiple Access* – Tecnologia utilizada na rede radioeléctrica dos sistemas de comunicações UMTS.

2.2.2 SERVIÇOS DE TELEFONIA

2.2.2.1 ACESSIBILIDADE DO SERVIÇO (DE VOZ OU DE VIDEOTELEFONIA)

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

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

$$\text{Acessibilidade do Serviço}\left[\%\right] = \frac{\text{N.º de Chamadas Estabelecidas com Sucesso}}{\text{N.º Total de Tentativas de Estabelecimento de Chamadas}} \times 100\%$$

2.2.2.2 TEMPO DE ESTABELECIMENTO DE CHAMADAS (DE VOZ OU DE 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.

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

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

t_{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 (DE VOZ OU DE 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.

$$\text{Taxa de Terminação de Chamadas}\left[\%\right] = \frac{\text{N.º de Chamadas com Terminação Normal}}{\text{N.º de Chamadas Estabelecidas com Sucesso}} \times 100\%$$

2.2.2.4 QUALIDADE ÁUDIO DE CHAMADA (DE VOZ OU DE VIDEOTELEFONIA)

Este indicador quantifica a perceptibilidade da conversação durante uma chamada (de voz ou de videotelefonia). 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 *PESQ*[2].

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.

$$\text{Qualidade Áudio de Chamada}_{\text{lado A}}\left[\text{MOS_LQO}\right] = f\left\{X_B(t); Y_A(t)\right\}$$
$$\text{Qualidade Áudio de Chamada}_{\text{lado B}}\left[\text{MOS_LQO}\right] = f\left\{X_A(t); Y_B(t)\right\}$$

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

MOS_LQO – escala de quantificação da qualidade áudio percebida (*Mean Opinion Score – Listening-only Quality Objective*).

f – função correspondente à aplicação de um algoritmo de cálculo e função de conversão dos resultados em valores MOS_LQO.

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

$Y_A(t)$; $Y_B(t)$ – amostra degradada de áudio recebida no lado A (B), resultante da transmissão da amostra original $X_B(t)$ ($X_A(t)$).

Os resultados da aplicação do algoritmo são 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 esforço necessário para se perceber uma comunicação. Apresenta como limites os valores 0 (zero), quando não há comunicação, e 5 (cinco), quando a comunicação é perfeita. O valor "zero" nunca aparece nos resultados porque apenas são consideradas situações em que a ligação foi estabelecida e mantida durante um período pré-definido. O "cinco" também não ocorre nos resultados porque os *CoDec*[3], utilizados pelas redes móveis, não possibilitam tão 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	Aceitável
2	Pobre
1	Má

[2] 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)*).

[3] CoDec – Codificador/Descodificador.

Nas situações em que em cada sentido da mesma chamada sejam enviadas e recebidas várias amostras de áudio $\{X_1(t), \ldots, X_n(t); Y_1(t), \ldots, Y_n(t)\}$, 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:

$$\text{Qualidade Áudio de Chamada}_{\text{lado A}}\left[MOS_LQO\right] = \frac{f\left\{X_{1_B}(t); Y_{1_A}(t)\right\} + \ldots + f\left\{X_{n_B}(t); Y_{n_A}(t)\right\}}{n}$$

$$\text{Qualidade Áudio de Chamada}_{\text{lado B}}\left[MOS_LQO\right] = \frac{f\left\{X_{1_A}(t); Y_{1_B}(t)\right\} + \ldots + f\left\{X_{n_A}(t); Y_{n_B}(t)\right\}}{n}$$

2.2.2.5 QUALIDADE VÍDEO DE CHAMADA DE VIDEOTELEFONIA

Este indicador quantifica a qualidade visual da comunicação, durante uma chamada de videotelefonia. São avaliados 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*.

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

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

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

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 13 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.).

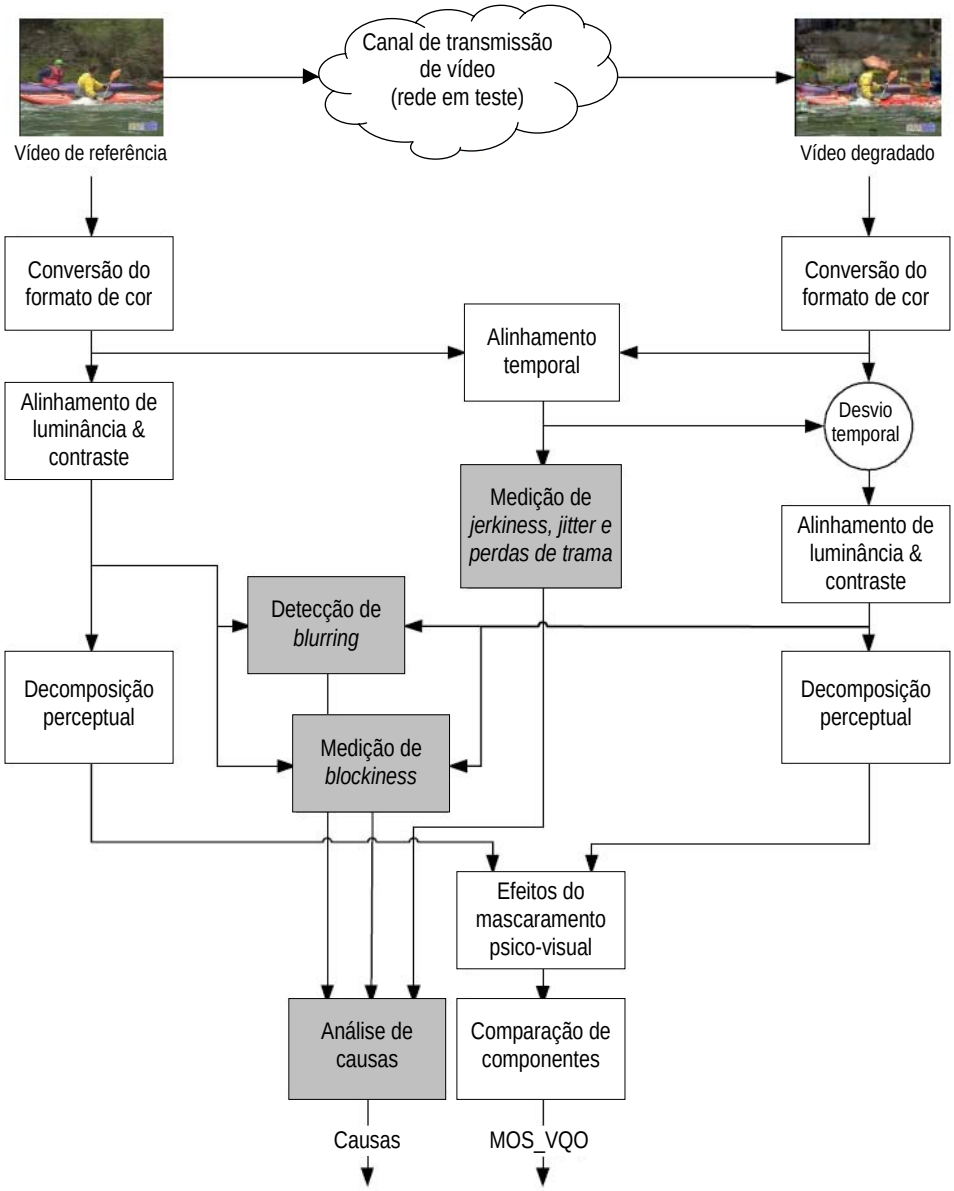


Figura 13 – Diagrama funcional do algoritmo VQuad (*SwissQual, AG*)

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 {$W_1(t), \ldots, W_n(t); Z_1(t), \ldots, Z_n(t)$}, 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:

$$\text{Qualidade Vídeo de Chamada}_{\text{lado A}}\left[MOS_VQO\right] = \frac{f\left\{W_{1_B}(t); Z_{1_A}(t)\right\} + \ldots + f\left\{W_{n_B}(t); Z_{n_A}(t)\right\}}{n}$$

$$\text{Qualidade Vídeo de Chamada}_{\text{lado B}}\left[MOS_VQO\right] = \frac{f\left\{W_{1_A}(t); Z_{1_B}(t)\right\} + \ldots + f\left\{W_{n_A}(t); Z_{n_B}(t)\right\}}{n}$$

2.3 PERFIS DE MEDIDA[4]

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 *Seven.Five* (durante a execução de um teste não há qualquer intervenção ou decisão humana).

Os testes de voz são realizados com selecção manual da infra-estrutura 2G (GSM), enquanto que os testes de videotelefonia são realizados com selecção automática das infra-estruturas 2G ou 3G (GSM/UMTS).

As medidas são realizadas no interior dos comboios no decorrer do funcionamento normal do Serviço Alfa Pendular da CP. Todos os parâmetros recolhidos são georeferenciados, permitindo a sua posterior representação em cartografia digital.

2.3.2 COBERTURA

A avaliação da cobertura radioeléctrica 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 –

[4] 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 V1.3.1

um *Scanner* de RF– para que os valores medidos correspondam aos níveis efectivos de sinal. O equipamento de medida dispõe de capacidade para, em cada ponto, recolher amostras de sinal de todos os canais radioeléctricos GSM e WCDMA, utilizados pelos operadores em análise, com uma periodicidade de aproximadamente 1 e 3 segundos, respectivamente. Posteriormente, as amostras recolhidas são analisadas e apenas as que apresentarem os melhores valores de nível de sinal, em cada ponto e para cada tecnologia e operador, são consideradas.

Cada ponto de medida é georeferenciado 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 grande 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 radioeléctrica, 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*).

Após o início de uma chamada de teste, analisa-se a integridade da comunicação (qualidade áudio, no serviço de voz, e qualidade áudio/vídeo, no serviço de videotelefonia) alternadamente em cada sentido, independentemente do extremo em que se iniciou a chamada.

(2005-11)), 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 V1.1.1 (2005-10)).

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 chegar 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.

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.

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

Os parâmetros de teste para análise do serviço de videotelefonia são semelhantes aos utilizados para o serviço de voz. A diferença ocorre na janela temporal que é maior, dado que os tempos necessários para estabelecimento de chamadas e negociação da comunicação áudio/vídeo entre terminais são mais longos.

Os parâmetros de teste utilizados para análise do serviço de videotelefonia 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: 210 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 *Seven.Five/NetQual*, concebido e desenvolvido pela *SwissQual, A.G.* (Suíça). 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. *7.5 Multi* – Unidade Móvel, com *scanner* de RF e equipamentos terminais móveis comerciais (no estudo realizado foram utilizados terminais NOKIA 6680);

b. *Land Unit* – Unidade Fixa, com cartas de interface RDIS, utilizada para testes de voz;

c. *Video Call Server* – Unidade Fixa, com equipamentos terminais móveis comerciais (também NOKIA 6680), utilizado para testes de videotelefonia;

d. *Media Server* – Unidade Fixa, servidor utilizado para testes de dados e de *videostreaming*;

e. *NQDI* – Sistema de Pós-processamento, para análise e reporte das medidas realizadas.

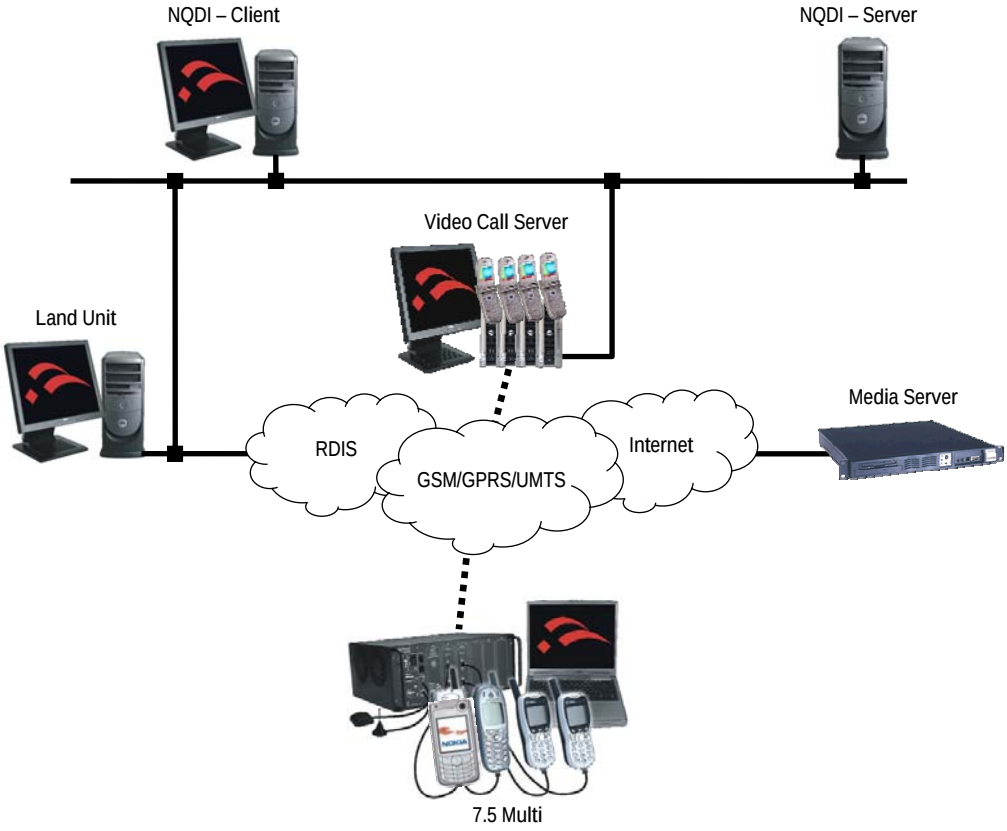


Figura 14 – Arquitectura do sistema *Seven.Five/NetQual*

3 AMOSTRA DO ESTUDO

Para uma adequada avaliação da qualidade dos serviços de Voz (GSM), Videotelefonia (UMTS) e Cobertura das Redes (GSM e WCDMA), foi escolhida uma amostra representativa da utilização destes serviços nos comboios que efectuam o serviço Alfa Pendular.

3.1 LOCAIS ANALISADOS

Foram analisados todos os locais onde está disponível o Serviço Alfa Pendular da CP, ou seja, nos eixos ferroviários Braga-Porto-Lisboa e Lisboa-Faro.

Tabela 3 – Eixos Ferroviários analisados

Eixos Ferroviários	Distância Aproximada (Km)
Braga-Porto-Lisboa	390
Lisboa-Faro	310

3.2 DIMENSÃO DA AMOSTRA

Tabela 4 – Amostra, para os três operadores estudados

		Horas em Medidas	Chamadas de Voz	Chamadas de Videotelefonia	Medidas Cobertura		Quilómetros em Medidas
					GSM	WCDMA	
Eixos Ferroviários	Braga-Porto-Lisboa	14 h 00	822	713	157.815	52.375	1.560
	Lisboa-Faro	12 h 50	765	663	141.697	47.193	1.240
	Total	26 h 50	1.587	1.376	299.512	99.568	2.800

3.3 CONDIÇÕES DE RECOLHA DE DADOS

As campanhas no terreno decorreram em dias úteis, do período de 18 de Fevereiro a 11 de Março de 2008, durante o normal funcionamento do Serviço Alfa Pendular.

Os eixos ferroviários analisados foram percorridos quatro vezes em medidas.

4 RESULTADOS

4.1 SERVIÇO ALFA PENDULAR NO EIXO FERROVIÁRIO BRAGA-PORTO-LISBOA

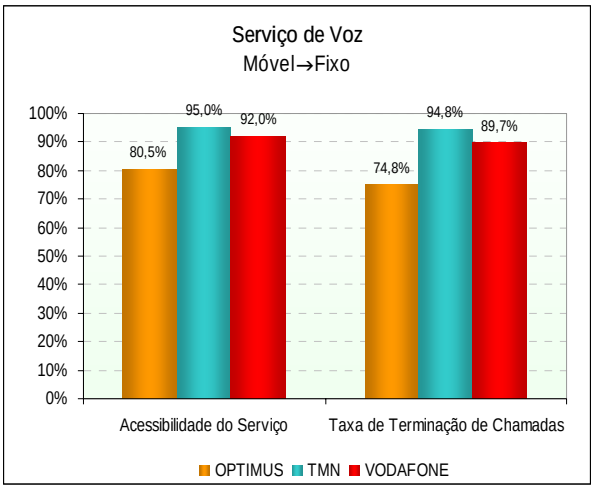
Sessões de Medidas realizadas em:

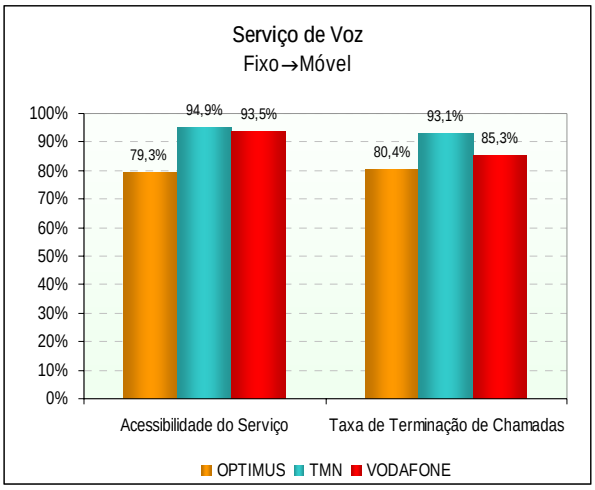
- 5 de Março de 2008, entre as 18h00 e as 21h35;
- 6 de Março de 2008, entre as 13h55 e as 17h35;
- 10 de Março de 2008, entre as 13h55 e as 21h35;
- 11 de Março de 2008, entre as 13h55 e as 21h35.

4.1.1 SERVIÇO DE VOZ (GSM)

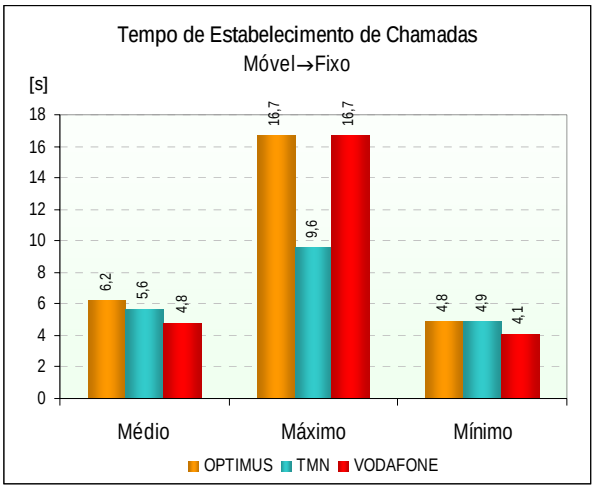
		OPTIMUS		TMN		VODAFONE	
		Móvel→Fixo	Fixo→Móvel	Móvel→Fixo	Fixo→Móvel	Móvel→Fixo	Fixo→Móvel
Chamadas Realizadas	Número de Chamadas	133	135	141	138	137	138
	Falhadas no Estabelecimento	26	28	7	7	11	9
	Falhadas Durante a Chamada	27	21	7	9	13	19
	Com Terminação Normal	80	86	127	122	113	110
	Acessibilidade do Serviço	80,5%	79,3%	95,0%	94,9%	92,0%	93,5%
	Taxa de Terminação de Chamadas	74,8%	80,4%	94,8%	93,1%	89,7%	85,3%
Estabelecimento das Chamadas	Número de Amostras (Chamadas)	107	107	134	131	126	129
	Tempo Médio [s]	6,2	7,9	5,6	7,4	4,8	7,3
	Tempo Máximo [s]	16,7	16,3	9,6	11,4	16,7	13,2
	Tempo Mínimo [s]	4,8	5,9	4,9	6,1	4,1	6,0
	Desvio Padrão [s]	1,8	1,9	0,6	0,8	1,3	1,2
Qualidade Áudio	Número de Amostras (Chamadas)	166	166	249	249	223	223
	Média [MOS]	3,69	3,64	3,82	3,68	3,74	3,65
	Máxima [MOS]	3,95	3,90	3,96	3,90	3,94	3,92
	Mínima [MOS]	2,34	2,17	2,54	2,45	2,98	2,18
	Desvio Padrão [MOS]	0,29	0,26	0,18	0,25	0,13	0,23

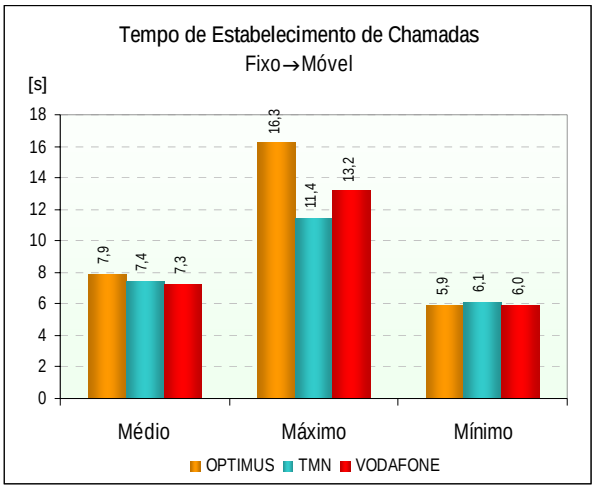
4.1.1.1 INDICADORES *ACESSIBILIDADE DO SERVIÇO* E *TAXA DE TERMINAÇÃO DE CHAMADAS*



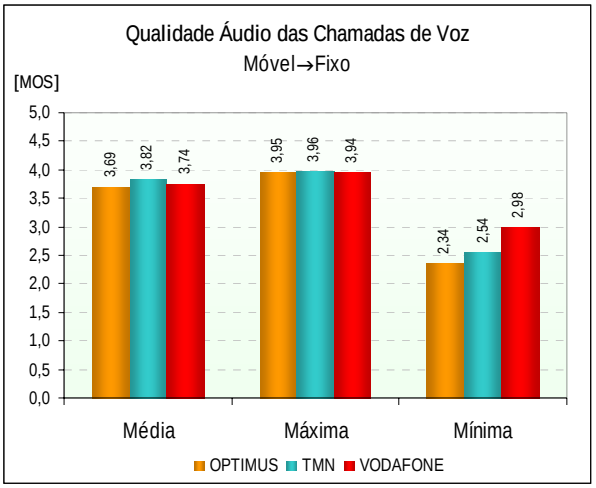


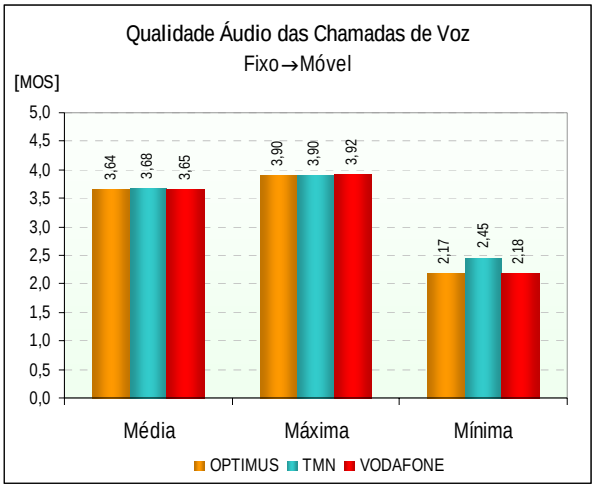
4.1.1.2 INDICADOR *TEMPO DE ESTABELECIMENTO DE CHAMADAS*



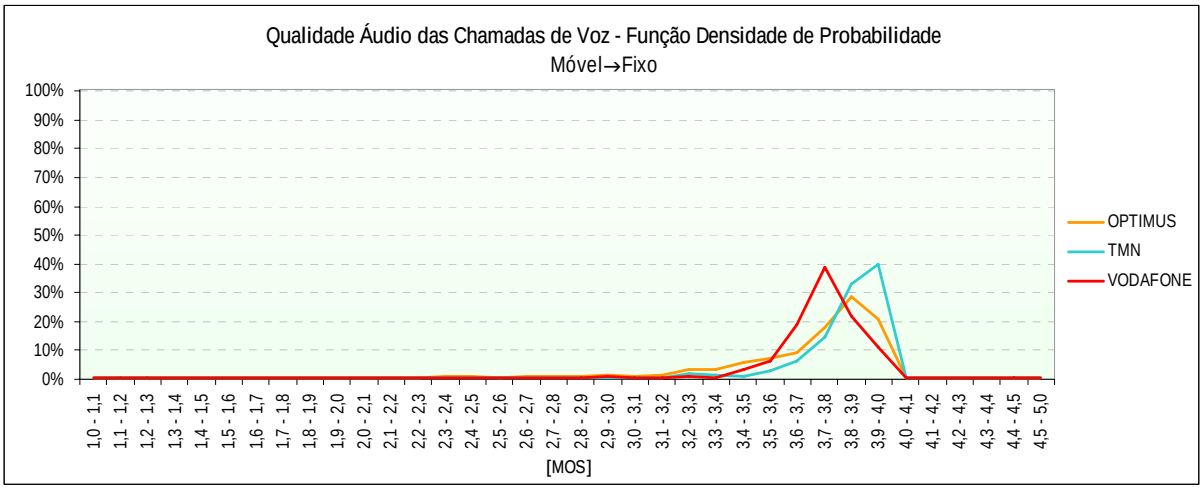


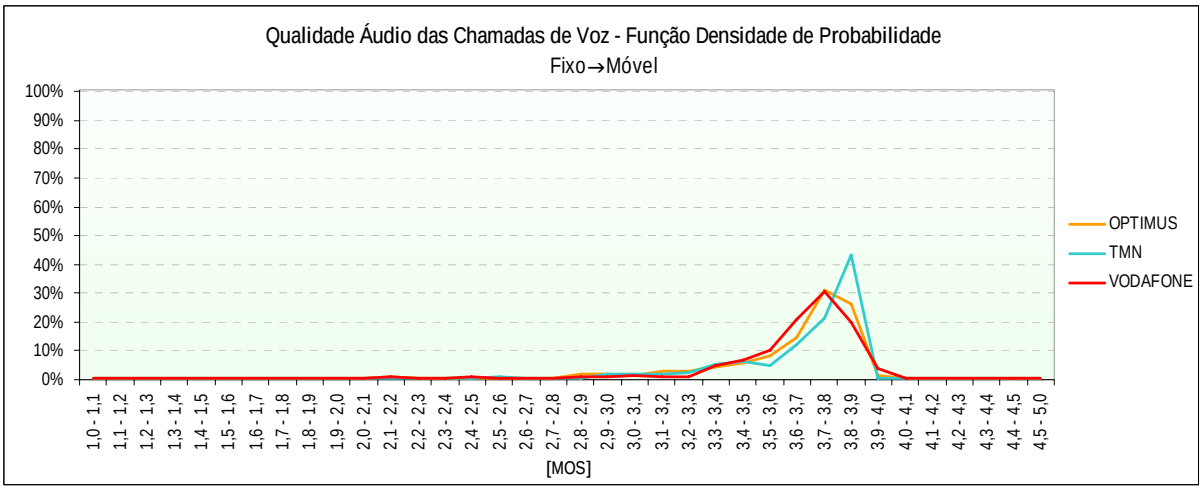
4.1.1.3 INDICADOR *QUALIDADE ÁUDIO DAS CHAMADAS DE VOZ*





4.1.1.4 FUNÇÃO DENSIDADE DE PROBABILIDADE DO INDICADOR *QUALIDADE ÁUDIO DAS CHAMADAS DE VOZ*

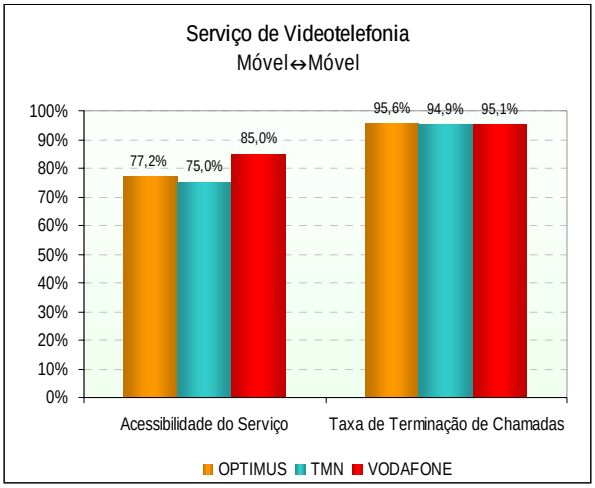




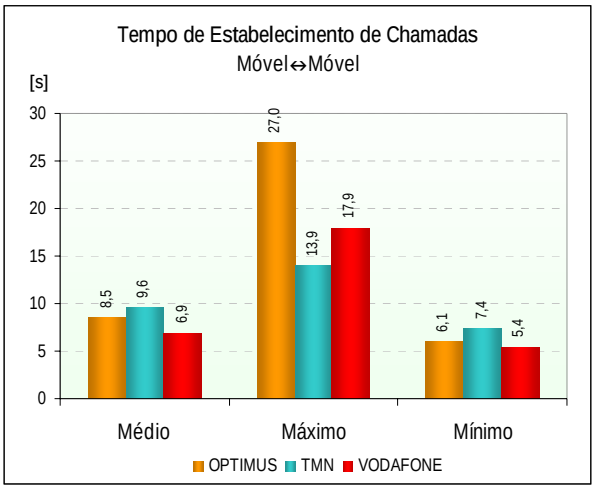
4.1.2 SERVIÇO DE VIDEOTELEFONIA (UMTS)

		OPTIMUS	TMN	VODAFONE
		Móvel↔Móvel	Móvel↔Móvel	Móvel↔Móvel
Chamadas Realizadas	Número de Chamadas	237	236	240
	Falhadas no Estabelecimento	54	59	36
	Falhadas Durante a Chamada	8	9	10
	Com Terminação Normal	175	168	194
	Acessibilidade do Serviço	77,2%	75,0%	85,0%
	Taxa de Terminação de Chamadas	95,6%	94,9%	95,1%
Estabelecimento das Chamadas	Número de Amostras (Chamadas)	183	177	204
	Tempo Médio [s]	8,5	9,6	6,9
	Tempo Máximo [s]	27,0	13,9	17,9
	Tempo Mínimo [s]	6,1	7,4	5,4
	Desvio Padrão [s]	2,6	1,5	1,6
Qualidade Áudio	Número de Amostras (Chamadas)	343	334	388
	Média [MOS]	3,85	3,79	3,84
	Máxima [MOS]	4,06	4,06	4,06
	Mínima [MOS]	1,00	1,00	1,00
	Desvio Padrão [MOS]	0,38	0,54	0,37
Qualidade Vídeo	Número de Amostras (Chamadas)	342	332	385
	Média [MOS]	3,04	3,02	3,02
	Máxima [MOS]	3,68	3,68	3,68
	Mínima [MOS]	1,92	1,00	1,67
	Desvio Padrão [MOS]	0,53	0,58	0,58

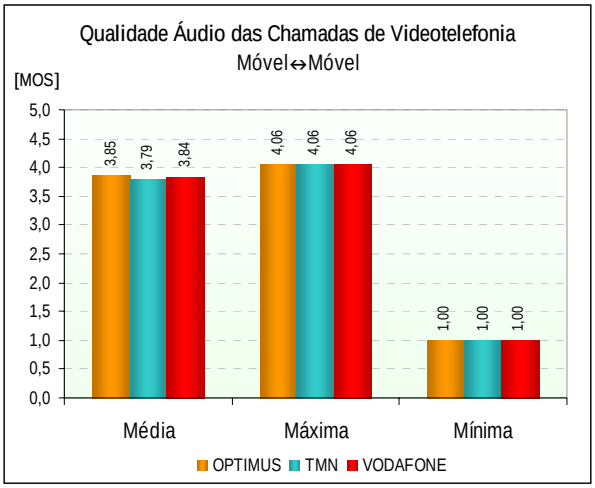
4.1.2.1 INDICADORES *ACESSIBILIDADE DO SERVIÇO* E *TAXA DE TERMINAÇÃO DE CHAMADAS*



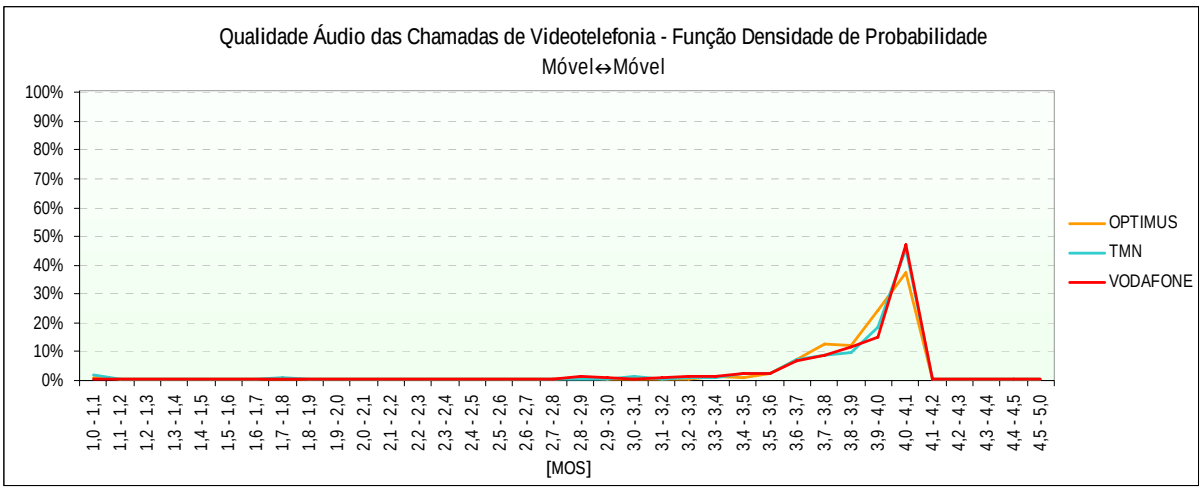
4.1.2.2 INDICADOR *TEMPO DE ESTABELECIMENTO DE CHAMADAS*



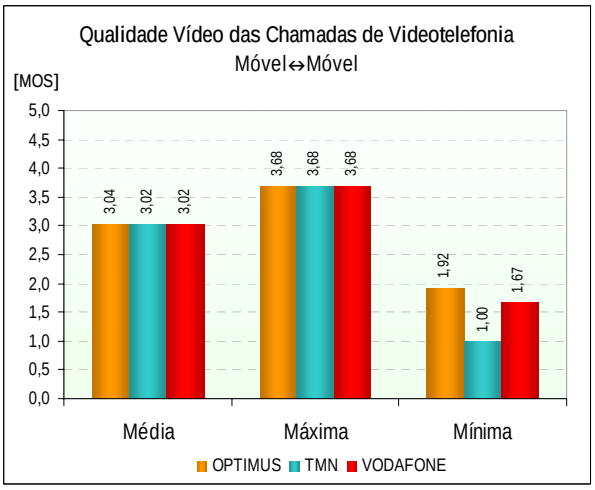
4.1.2.3 INDICADOR *QUALIDADE ÁUDIO DAS CHAMADAS DE VIDEOTELEFONIA*



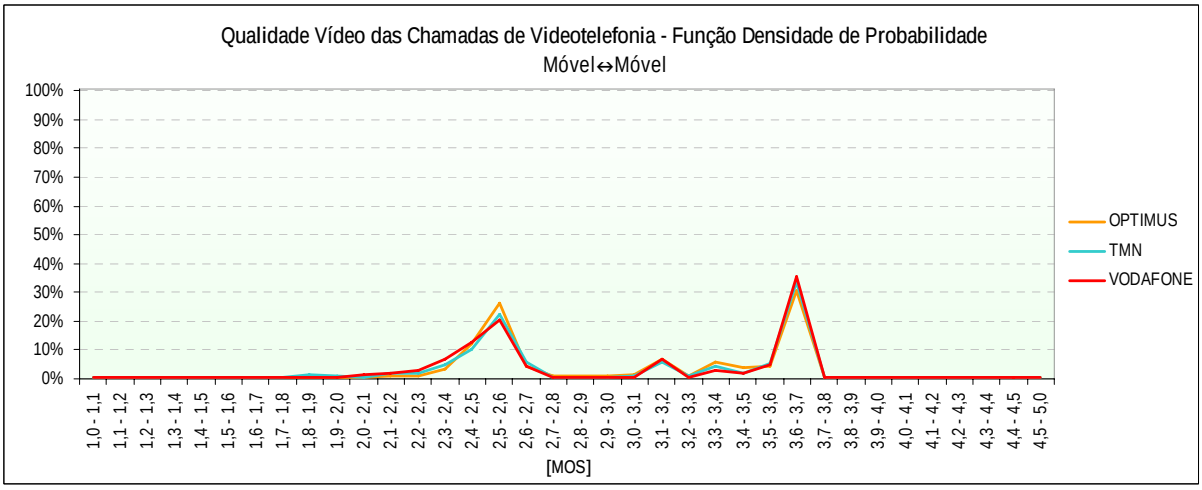
4.1.2.4 FUNÇÃO DENSIDADE DE PROBABILIDADE DO INDICADOR *QUALIDADE ÁUDIO DAS CHAMADAS DE VIDEOTELEFONIA*



4.1.2.5 INDICADOR *QUALIDADE VÍDEO DAS CHAMADAS DE VIDEOTELEFONIA*



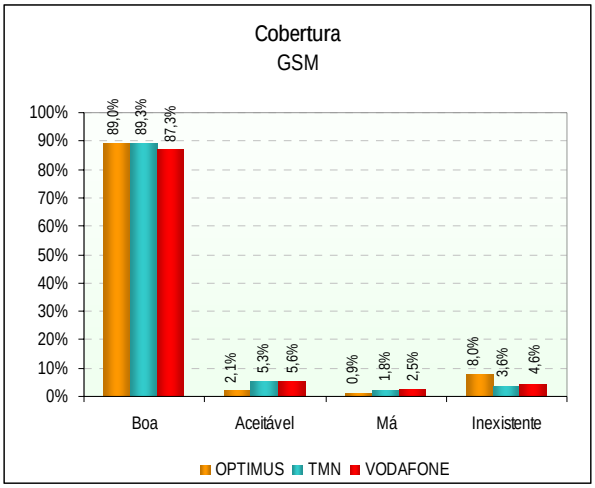
4.1.2.6 FUNÇÃO DENSIDADE DE PROBABILIDADE DO INDICADOR *QUALIDADE VÍDEO DAS CHAMADAS DE VIDEOTELEFONIA*



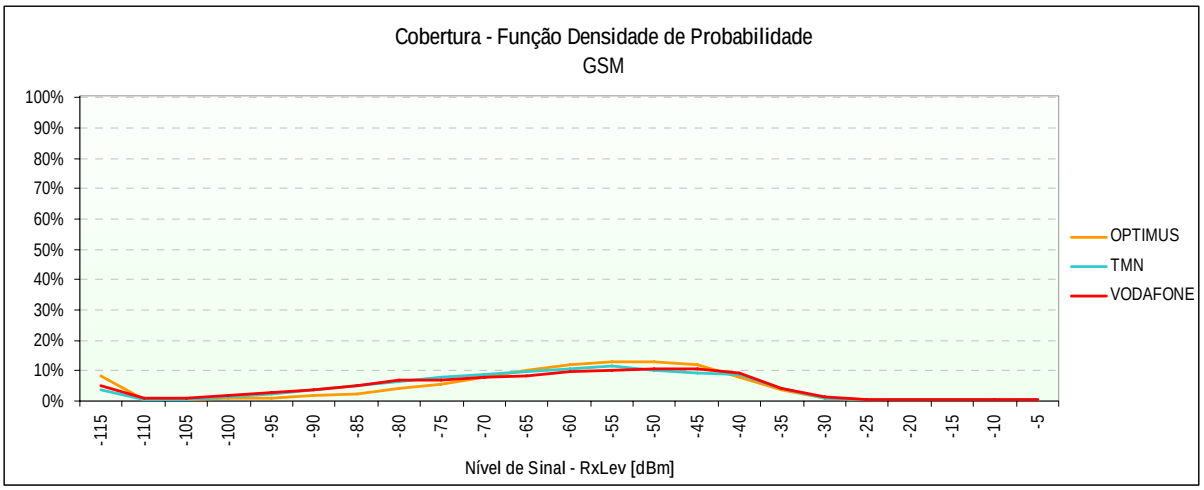
4.1.3 COBERTURA DAS REDES

		GSM			WCDMA		
		OPTIMUS	TMN	VODAFONE	OPTIMUS	TMN	VODAFONE
Cobertura	Número de Amostras (Medições)	52.620	52.598	52.597	17.449	17.544	17.382
	Nível Médio de Sinal [dBm]	-60	-61	-62	-79	-80	-82
	Nível Máximo de Sinal [dBm]	-15	-18	-19	-53	-55	-56
	Nível Mínimo de Sinal [dBm]	-115	-115	-115	-122	-122	-123
	Desvio Padrão [dBm]	21	19	21	12	13	13
	Boa	89,0%	89,3%	87,3%	89,4%	87,2%	84,4%
	Aceitável	2,1%	5,3%	5,6%	7,8%	8,8%	9,4%
	Má	0,9%	1,8%	2,5%	1,9%	2,7%	2,6%
	Inexistente	8,0%	3,6%	4,6%	0,9%	1,2%	3,6%

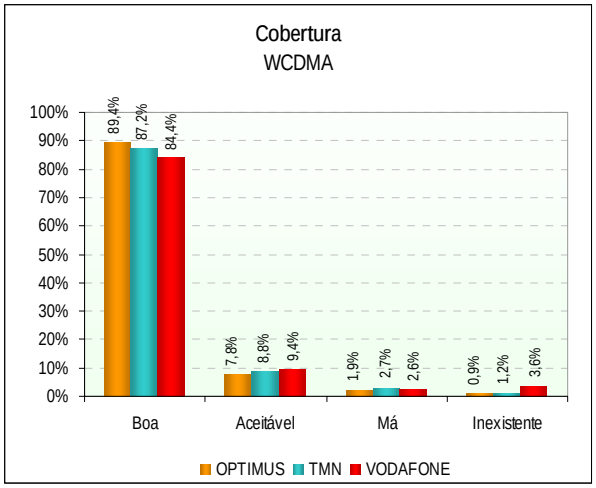
4.1.3.1 GSM



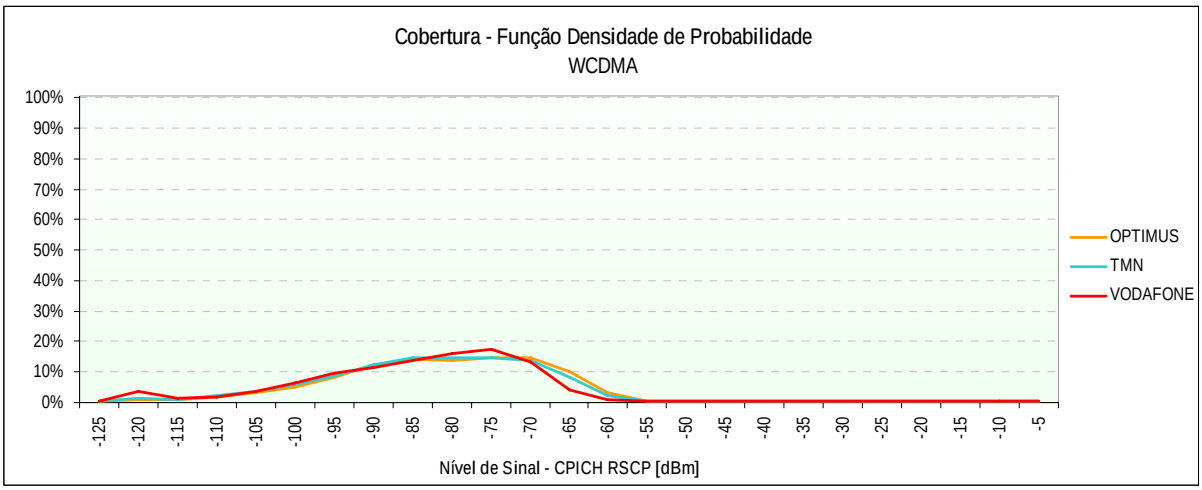
4.1.3.2 GSM - FUNÇÃO DENSIDADE DE PROBABILIDADE



4.1.3.3 WCDMA



4.1.3.4 WCDMA - FUNÇÃO DENSIDADE DE PROBABILIDADE

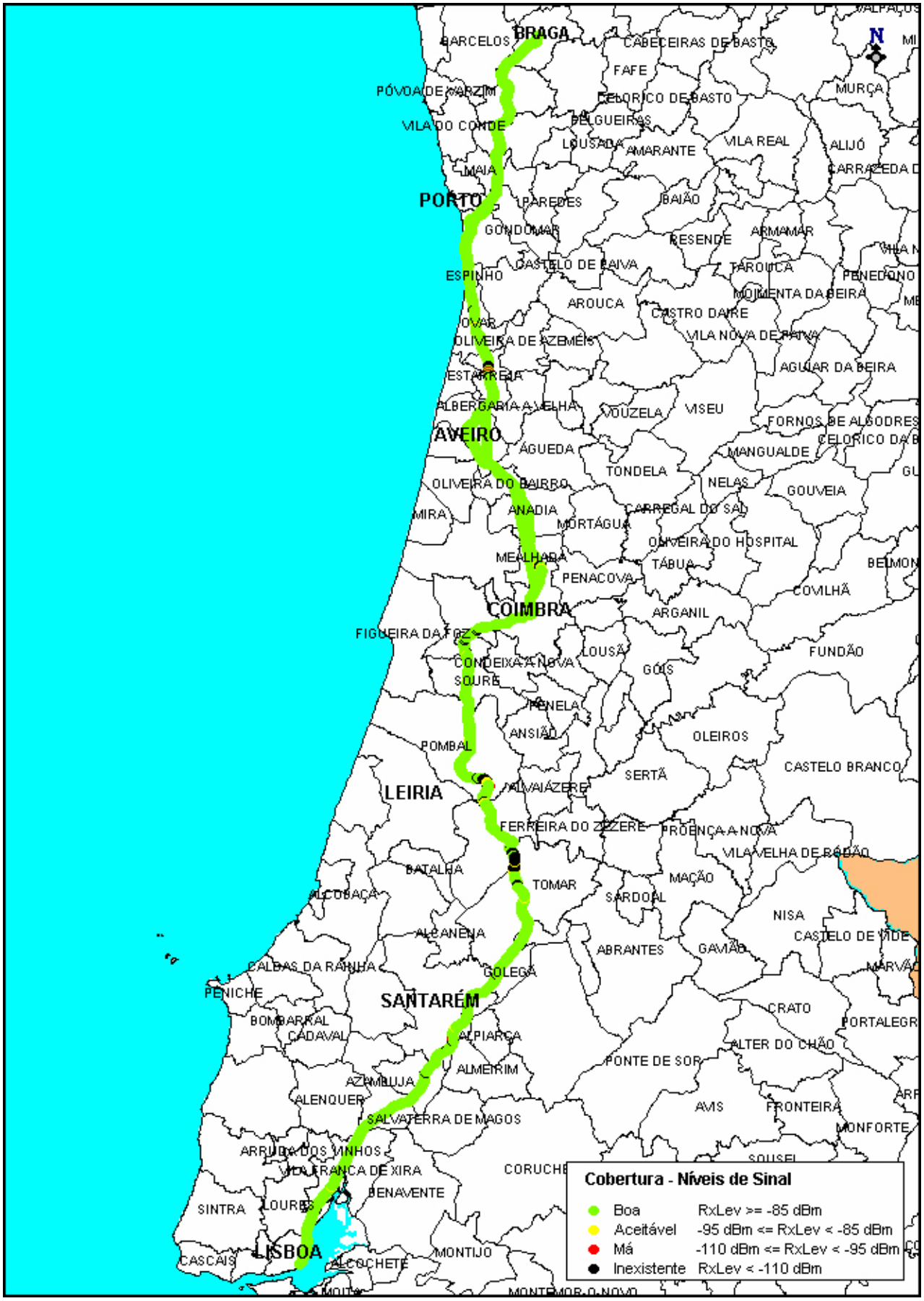


4.1.3.4.1 MAPAS DE COBERTURA

(Páginas seguintes)

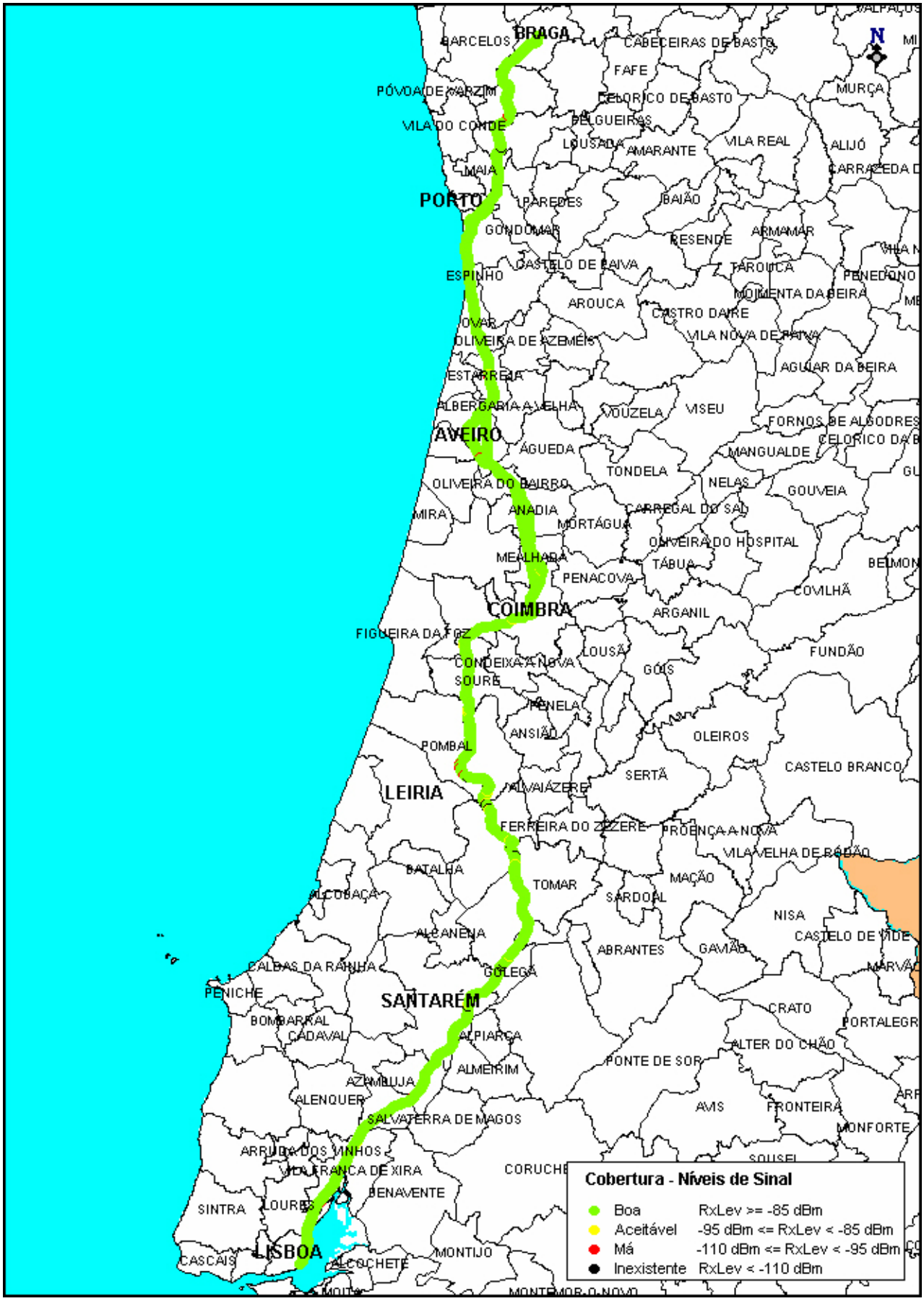
SERVIÇO ALFA PENDULAR NO EIXO FERROVIÁRIO BRAGA-PORTO-LISBOA

OPTIMUS – Cobertura GSM



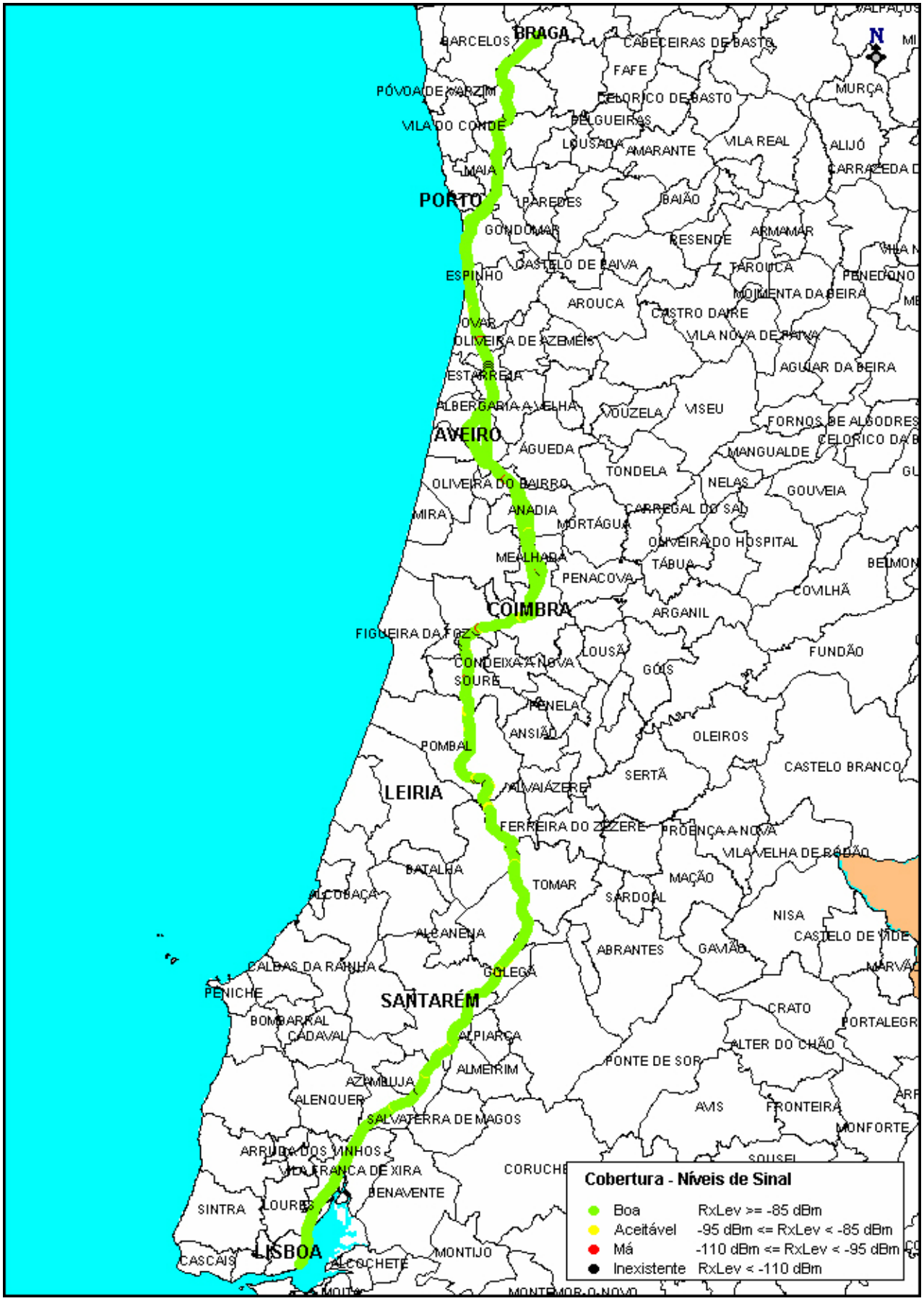
SERVIÇO ALFA PENDULAR NO EIXO FERROVIÁRIO BRAGA-PORTO-LISBOA

TMN – Cobertura GSM



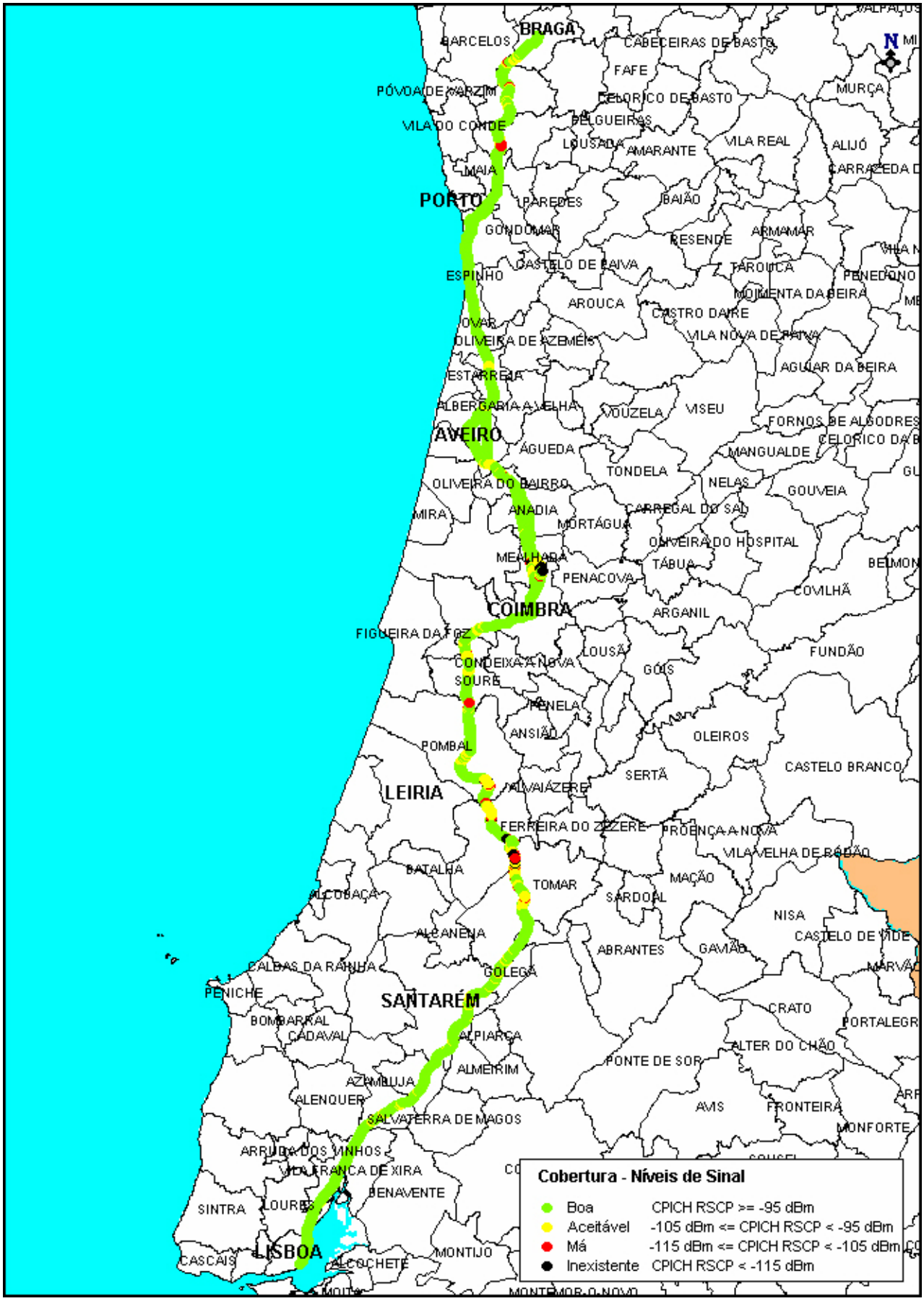
SERVIÇO ALFA PENDULAR NO EIXO FERROVIÁRIO BRAGA-PORTO-LISBOA

VODAFONE – Cobertura GSM



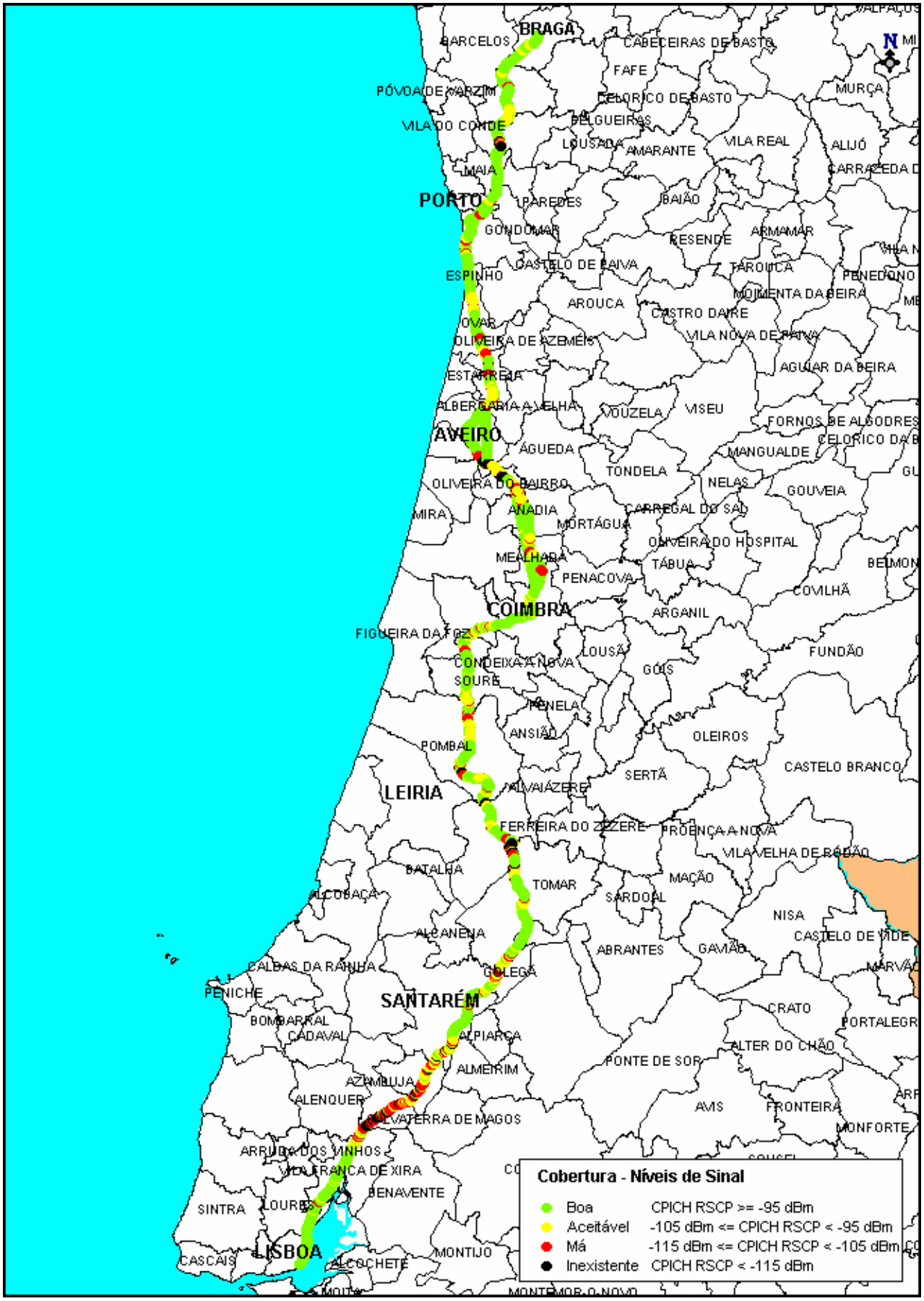
SERVIÇO ALFA PENDULAR NO EIXO FERROVIÁRIO BRAGA-PORTO-LISBOA

OPTIMUS – Cobertura WCDMA



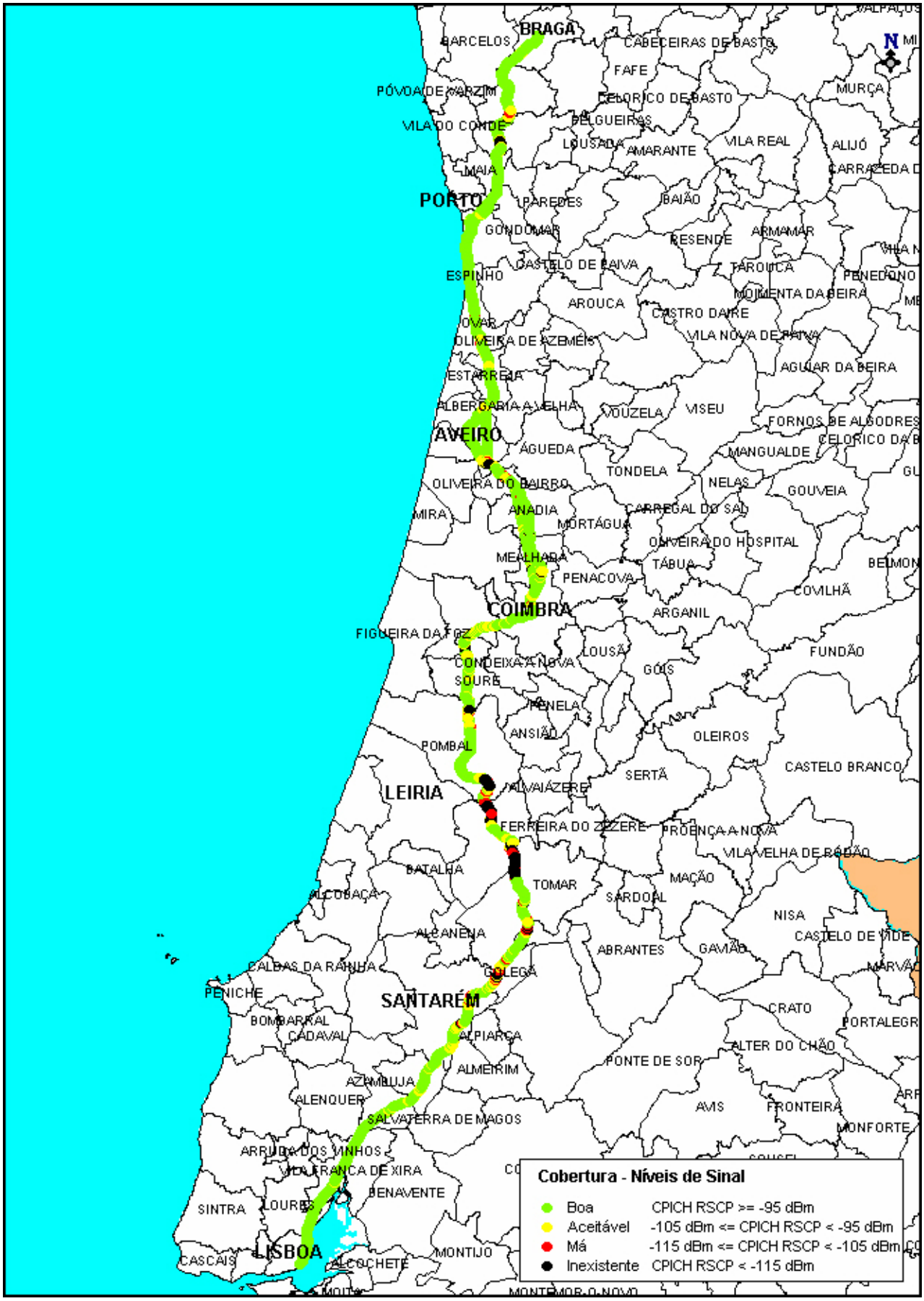
SERVIÇO ALFA PENDULAR NO EIXO FERROVIÁRIO BRAGA-PORTO-LISBOA

TMN – Cobertura WCDMA



SERVIÇO ALFA PENDULAR NO EIXO FERROVIÁRIO BRAGA-PORTO-LISBOA

VODAFONE – Cobertura WCDMA



4.2 SERVIÇO ALFA PENDULAR NO EIXO FERROVIÁRIO LISBOA-FARO

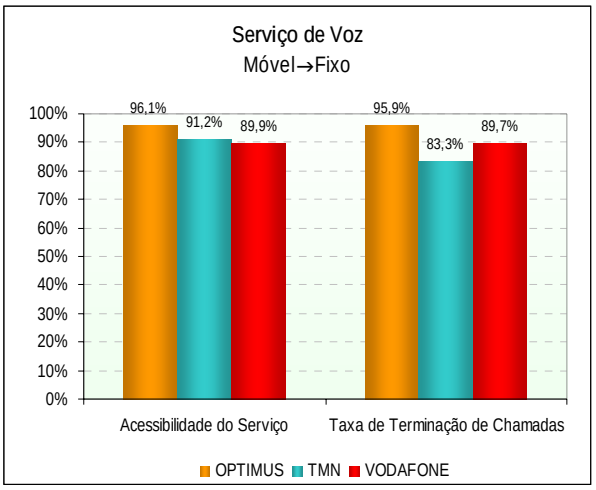
Sessões de Medidas realizadas em:

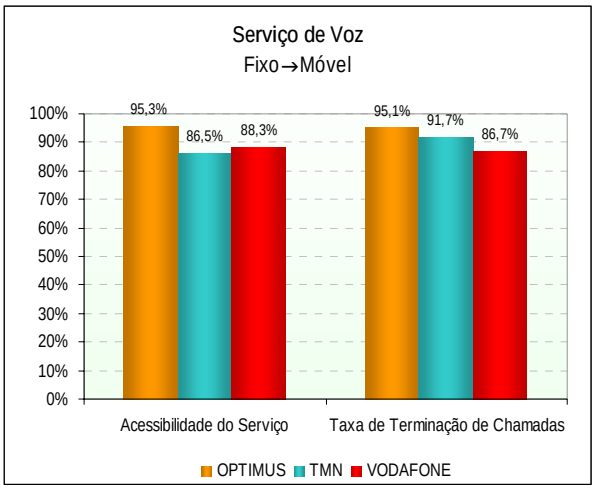
- 18 de Fevereiro de 2008, entre as 18h35 e as 22h00;
- 19 de Fevereiro de 2008, entre as 6h50 e as 10h10;
- 20 de Fevereiro de 2008, entre as 6h50 e as 10h10;
- 21 de Fevereiro de 2008, entre as 6h50 e as 10h10.

4.2.1 SERVIÇO DE VOZ (GSM)

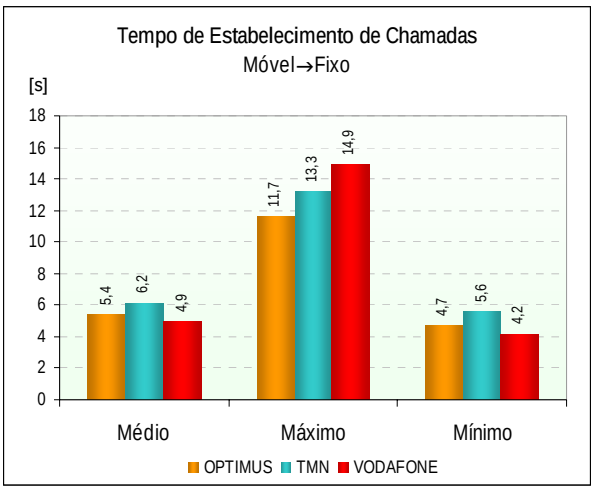
		OPTIMUS		TMN		VODAFONE	
		Móvel→Fixo	Fixo→Móvel	Móvel→Fixo	Fixo→Móvel	Móvel→Fixo	Fixo→Móvel
Chamadas Realizadas	Número de Chamadas	128	129	125	126	129	128
	Falhadas no Estabelecimento	5	6	11	17	13	15
	Falhadas Durante a Chamada	5	6	19	9	12	15
	Com Terminação Normal	118	117	95	100	104	98
	Acessibilidade do Serviço	96,1%	95,3%	91,2%	86,5%	89,9%	88,3%
	Taxa de Terminação de Chamadas	95,9%	95,1%	83,3%	91,7%	89,7%	86,7%
Estabelecimento das Chamadas	Número de Amostras (Chamadas)	123	123	114	109	116	113
	Tempo Médio [s]	5,4	6,9	6,2	7,7	4,9	6,5
	Tempo Máximo [s]	11,7	13,2	13,3	13,3	14,9	14,4
	Tempo Mínimo [s]	4,7	5,8	5,6	7,0	4,2	5,5
	Desvio Padrão [s]	0,8	0,9	1,1	0,8	1,6	1,1
Qualidade Áudio	Número de Amostras (Chamadas)	235	235	195	195	202	202
	Média [MOS]	3,77	3,76	3,77	3,76	3,72	3,72
	Máxima [MOS]	3,96	3,97	3,95	3,94	3,96	3,97
	Mínima [MOS]	3,15	1,99	2,11	1,64	2,58	2,18
	Desvio Padrão [MOS]	0,14	0,23	0,30	0,32	0,19	0,21

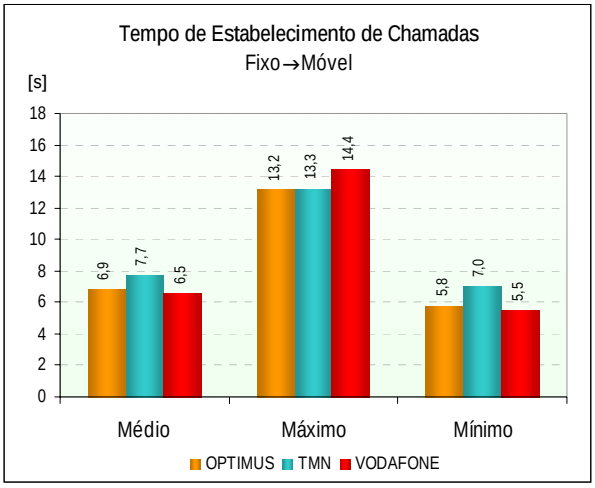
4.2.1.1 INDICADORES *ACESSIBILIDADE DO SERVIÇO* E *TAXA DE TERMINAÇÃO DE CHAMADAS*



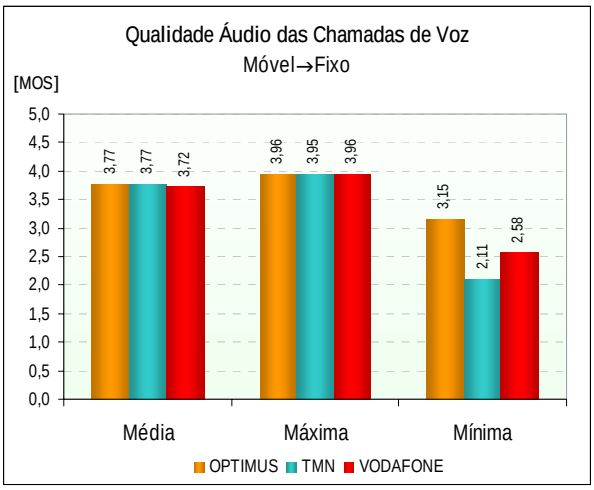


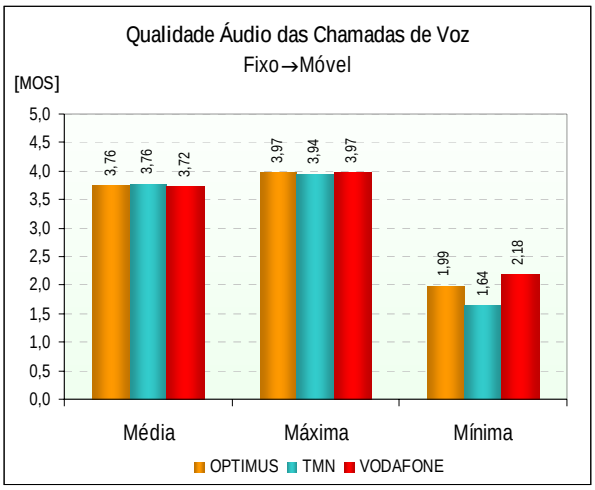
4.2.1.2 INDICADOR *TEMPO DE ESTABELECIMENTO DE CHAMADAS*



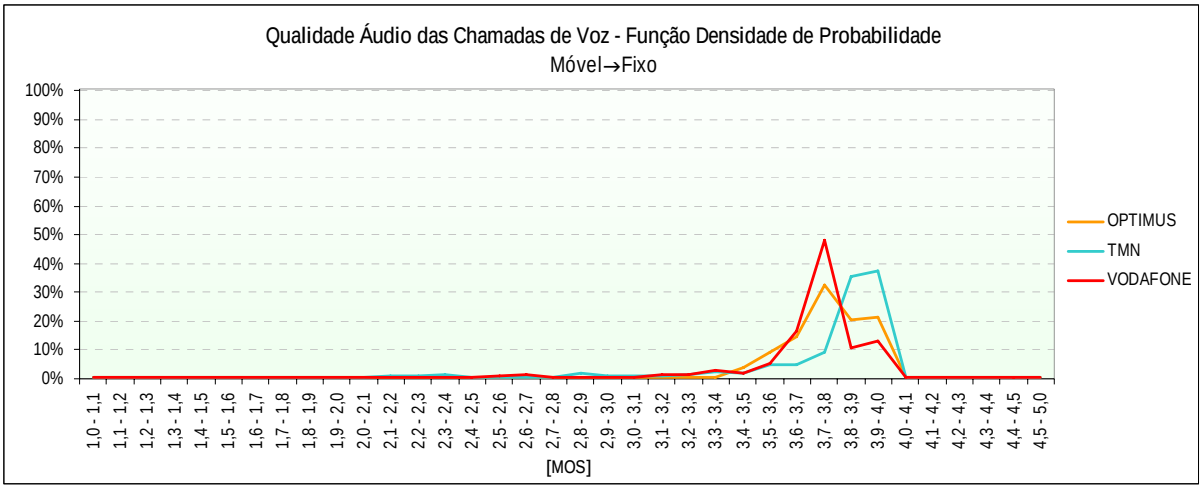


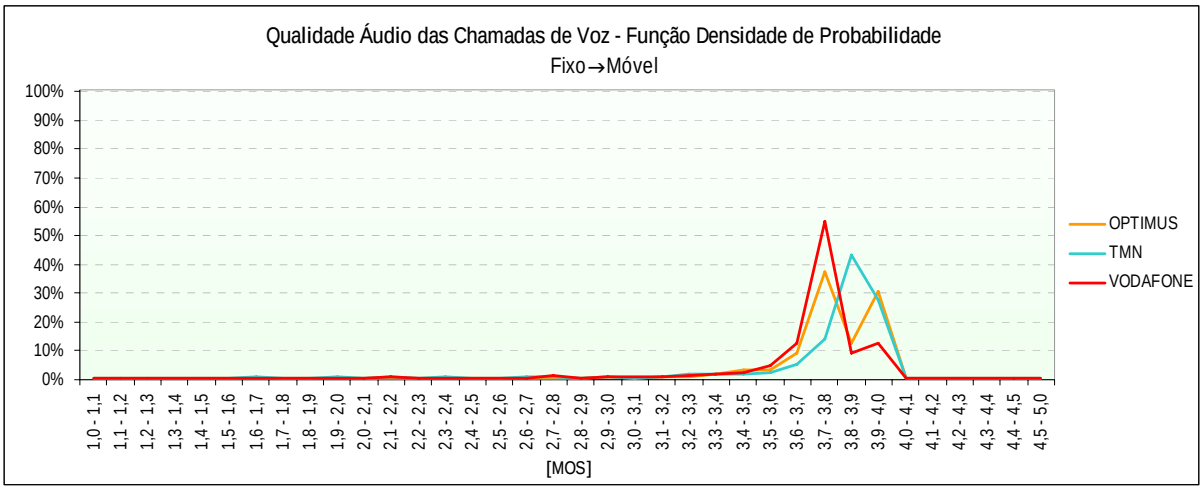
4.2.1.3 INDICADOR *QUALIDADE ÁUDIO DAS CHAMADAS DE VOZ*





4.2.1.4 FUNÇÃO DENSIDADE DE PROBABILIDADE DO INDICADOR *QUALIDADE ÁUDIO DAS CHAMADAS DE VOZ*

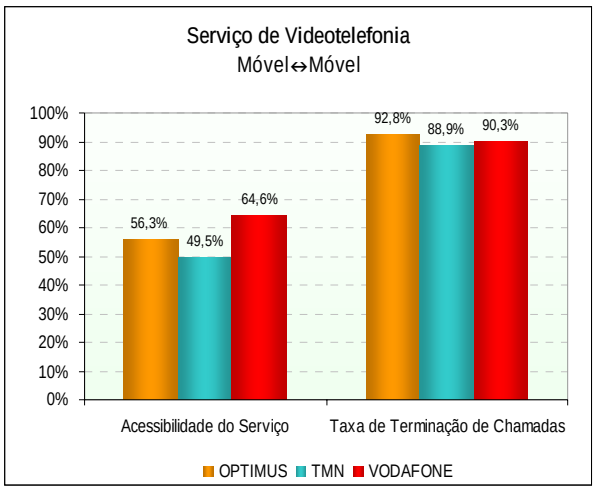




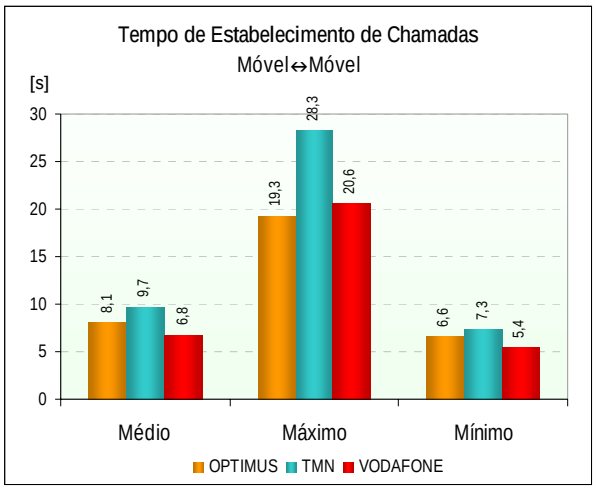
4.2.2 SERVIÇO DE VIDEOTELEFONIA (UMTS)

		OPTIMUS	TMN	VODAFONE
		Móvel↔Móvel	Móvel↔Móvel	Móvel↔Móvel
Chamadas Realizadas	Número de Chamadas	222	218	223
	Falhadas no Estabelecimento	97	110	79
	Falhadas Durante a Chamada	9	12	14
	Com Terminação Normal	116	96	130
	Acessibilidade do Serviço	56,3%	49,5%	64,6%
	Taxa de Terminação de Chamadas	92,8%	88,9%	90,3%
Estabelecimento das Chamadas	Número de Amostras (Chamadas)	125	108	144
	Tempo Médio [s]	8,1	9,7	6,8
	Tempo Máximo [s]	19,3	28,3	20,6
	Tempo Mínimo [s]	6,6	7,3	5,4
	Desvio Padrão [s]	2,0	2,6	1,9
Qualidade Áudio	Número de Amostras (Chamadas)	216	190	260
	Média [MOS]	3,84	3,82	3,82
	Máxima [MOS]	4,06	4,06	4,06
	Mínima [MOS]	1,00	1,00	1,00
	Desvio Padrão [MOS]	0,36	0,50	0,54
Qualidade Vídeo	Número de Amostras (Chamadas)	215	189	257
	Média [MOS]	2,94	3,05	3,19
	Máxima [MOS]	3,68	3,68	3,69
	Mínima [MOS]	2,01	1,00	1,80
	Desvio Padrão [MOS]	0,54	0,59	0,55

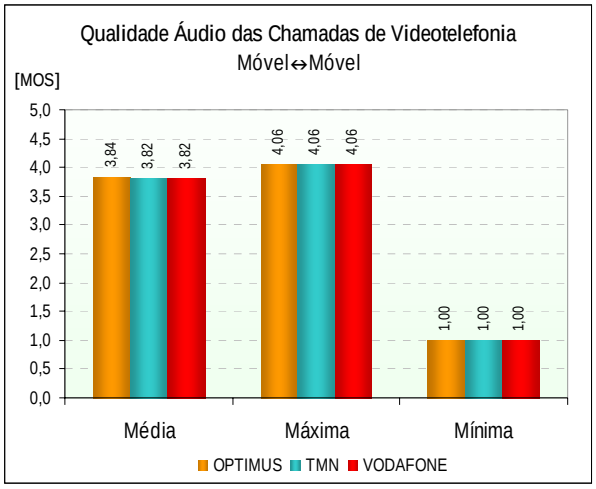
4.2.2.1 INDICADORES *ACESSIBILIDADE DO SERVIÇO* E *TAXA DE TERMINAÇÃO DE CHAMADAS*



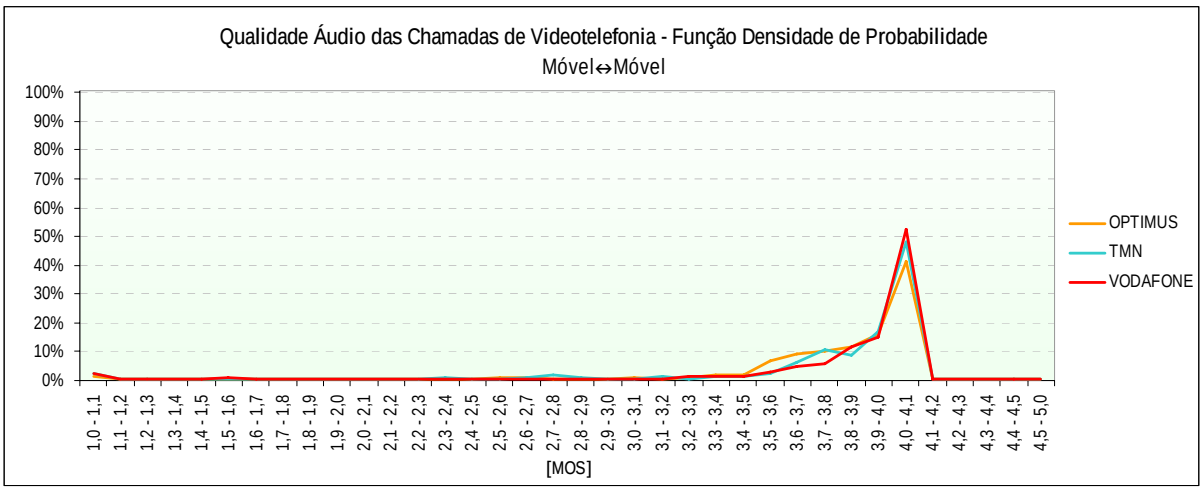
4.2.2.2 INDICADOR *TEMPO DE ESTABELECIMENTO DE CHAMADAS*



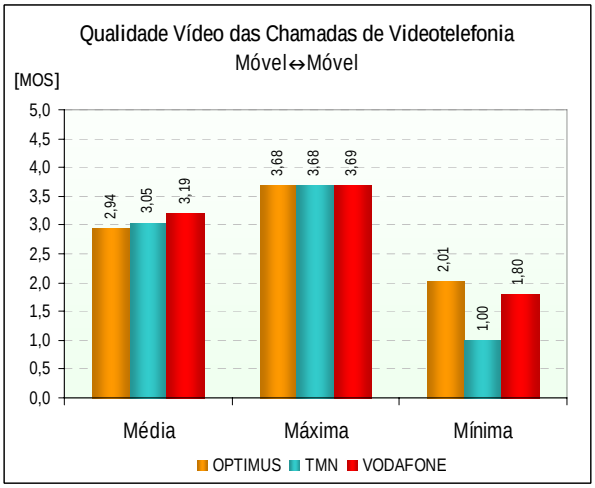
4.2.2.3 INDICADOR *QUALIDADE ÁUDIO DAS CHAMADAS DE VIDEOTELEFONIA*



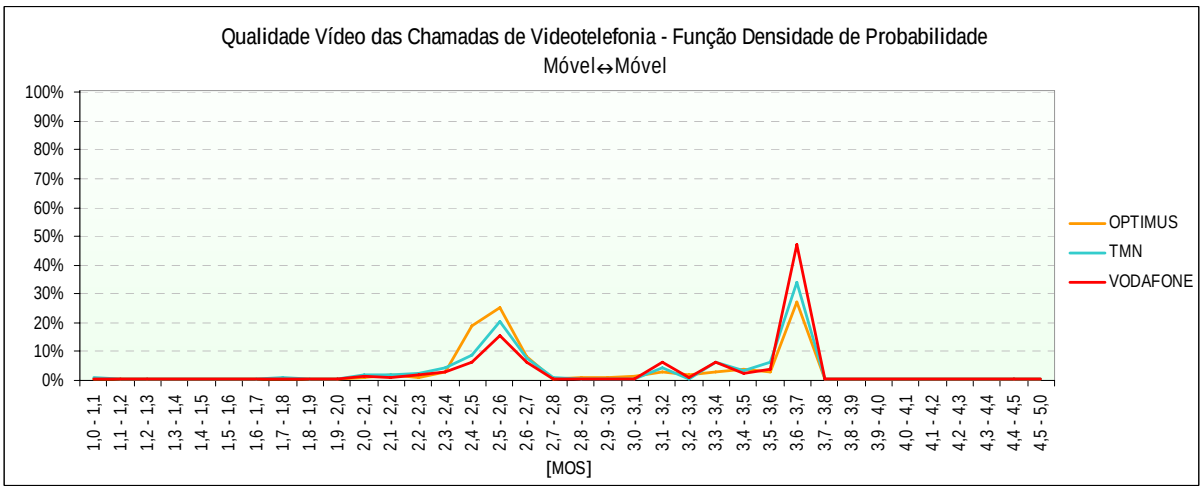
4.2.2.4 FUNÇÃO DENSIDADE DE PROBABILIDADE DO INDICADOR *QUALIDADE ÁUDIO DAS CHAMADAS DE VIDEOTELEFONIA*



4.2.2.5 INDICADOR *QUALIDADE VÍDEO DAS CHAMADAS DE VIDEOTELEFONIA*



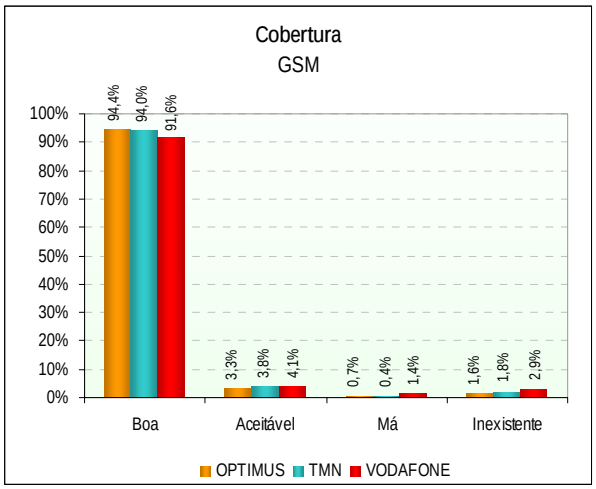
4.2.2.6 FUNÇÃO DENSIDADE DE PROBABILIDADE DO INDICADOR *QUALIDADE VÍDEO DAS CHAMADAS DE VIDEOTELEFONIA*



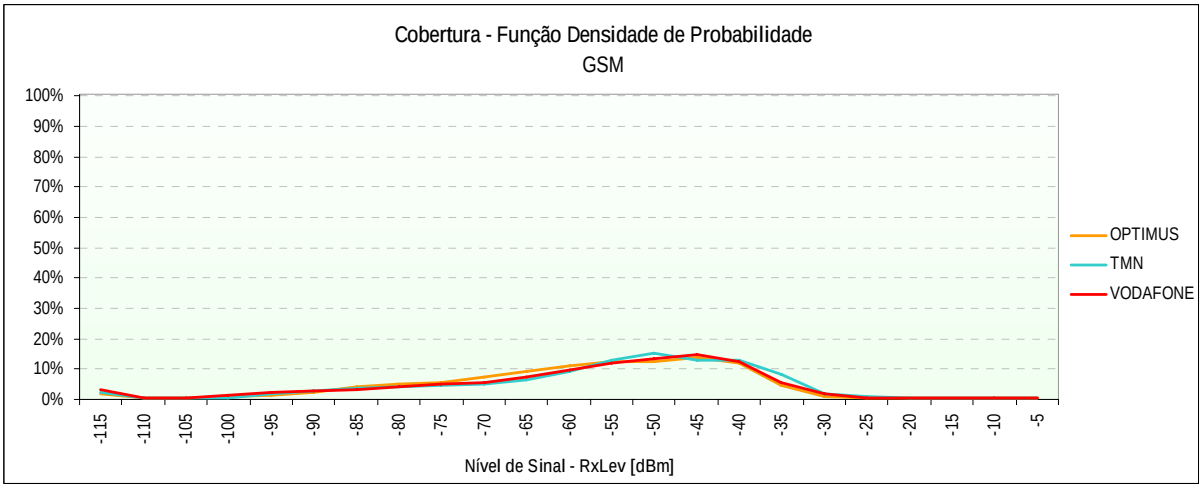
4.2.3 COBERTURA DAS REDES

		GSM			WCDMA		
		OPTIMUS	TMN	VODAFONE	OPTIMUS	TMN	VODAFONE
Cobertura	Número de Amostras (Medições)	47.216	47.191	47.290	15.725	15.742	15.726
	Nível Médio de Sinal [dBm]	-56	-54	-56	-79	-74	-77
	Nível Máximo de Sinal [dBm]	-21	-16	-16	-38	-40	-38
	Nível Mínimo de Sinal [dBm]	-115	-115	-115	-121	-121	-118
	Desvio Padrão [dBm]	17	18	19	22	19	20
	Boa	94,4%	94,0%	91,6%	70,7%	82,0%	74,4%
	Aceitável	3,3%	3,8%	4,1%	13,0%	7,8%	13,8%
	Má	0,7%	0,4%	1,4%	14,5%	8,4%	11,8%
	Inexistente	1,6%	1,8%	2,9%	1,7%	1,7%	0,0%

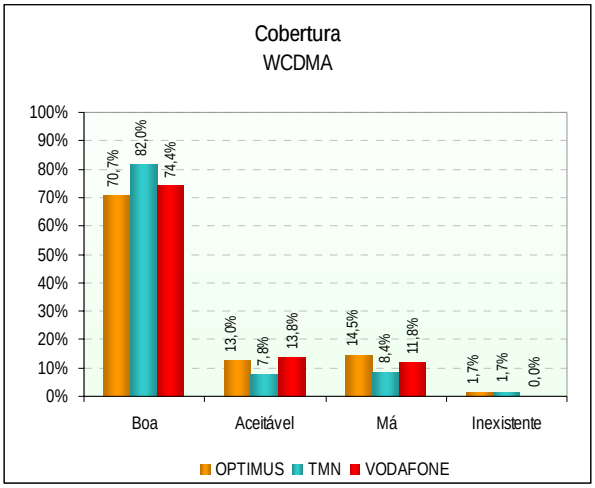
4.2.3.1 GSM



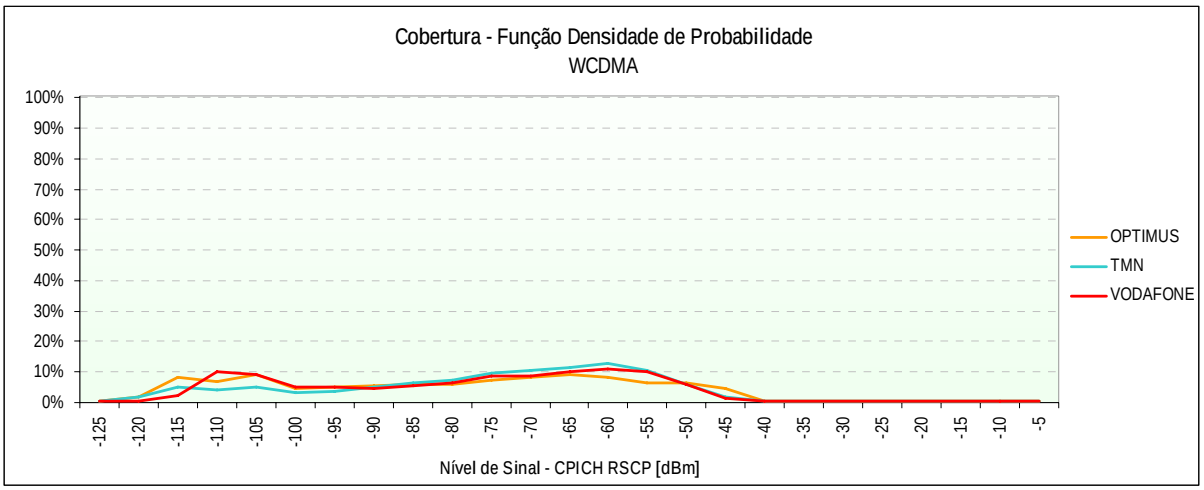
4.2.3.2 GSM - FUNÇÃO DENSIDADE DE PROBABILIDADE



4.2.3.3 WCDMA



4.2.3.4 WCDMA - Função Densidade de Probabilidade

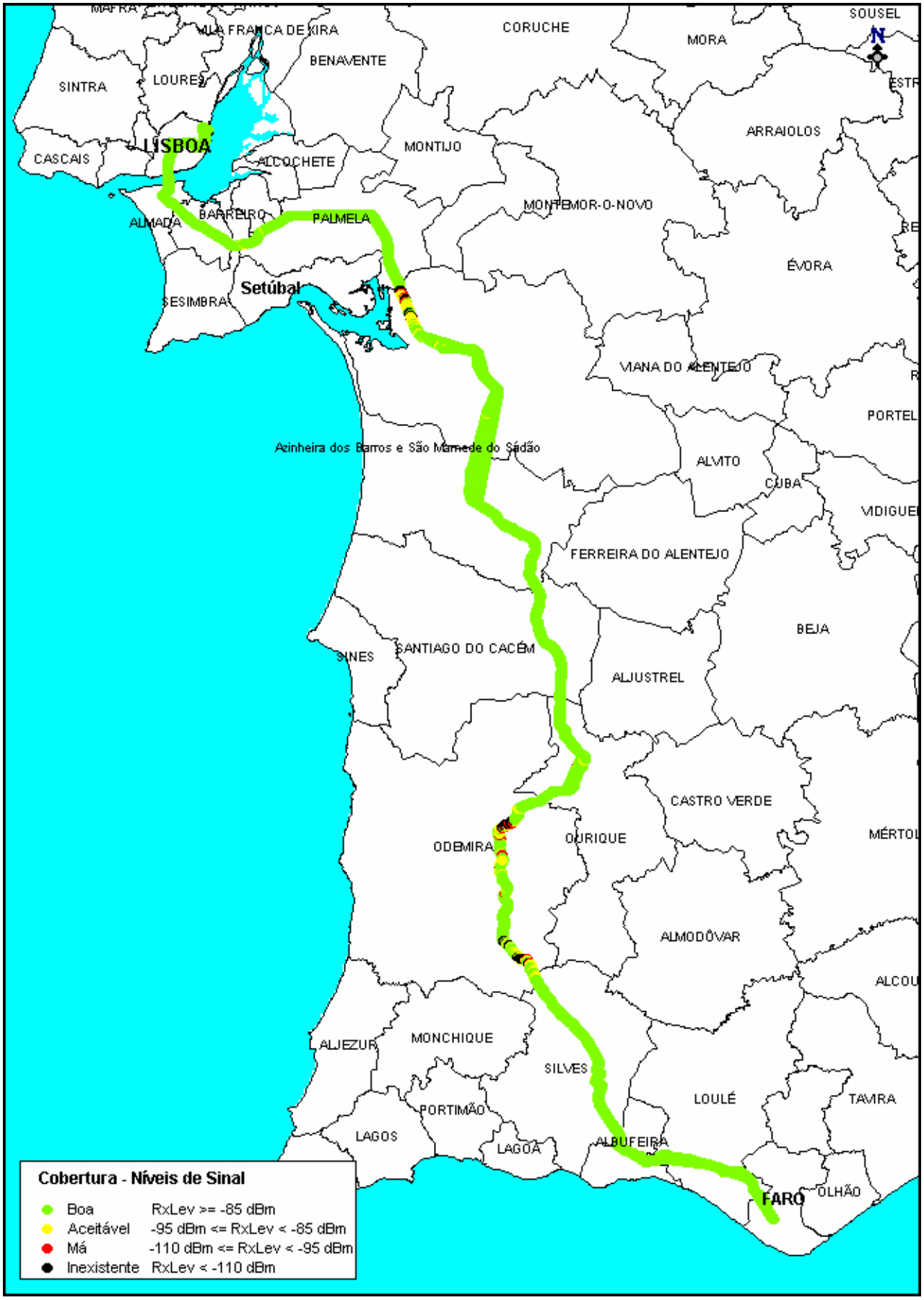


4.2.3.4.1 Mapas de Cobertura

(Páginas seguintes)

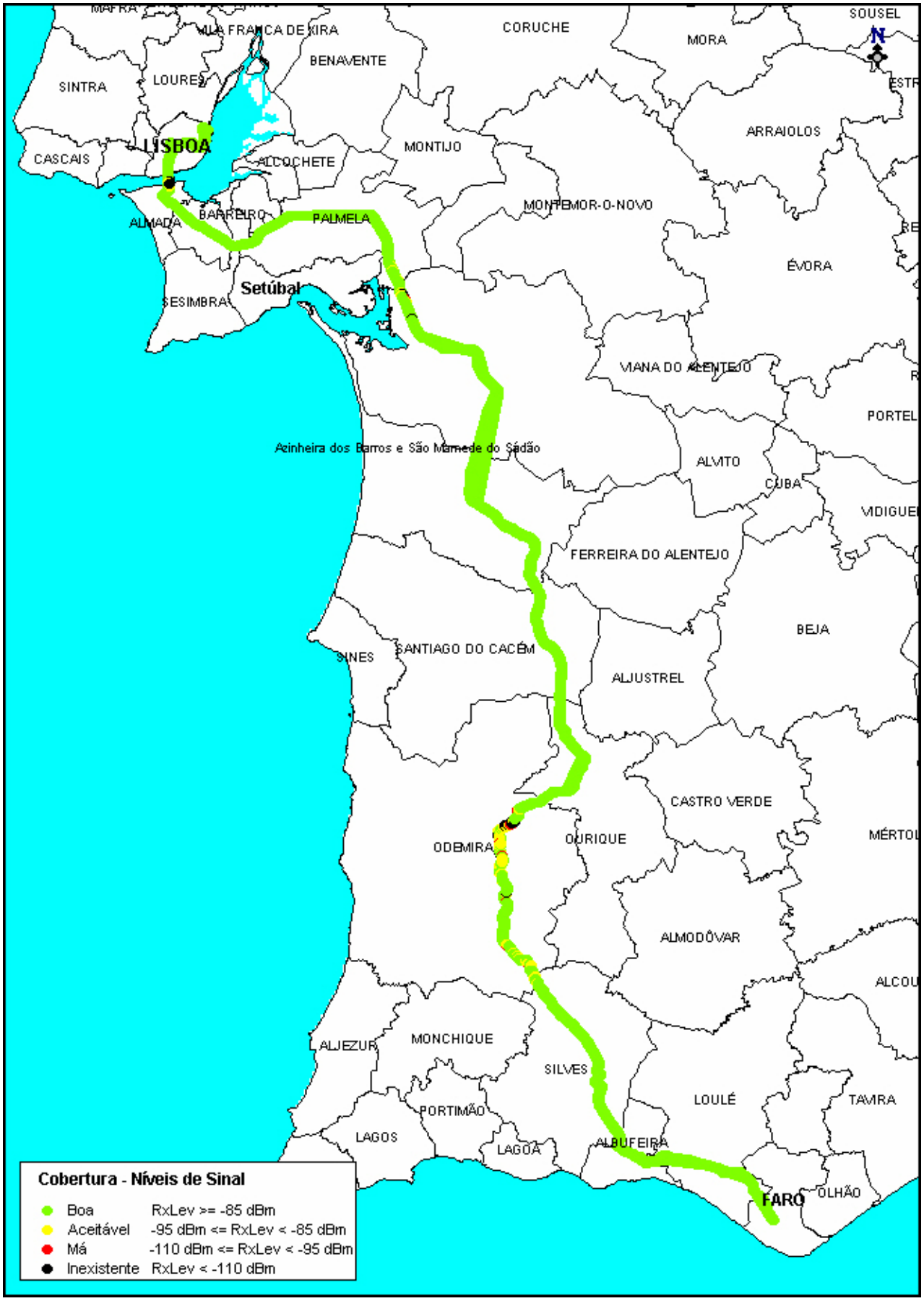
SERVIÇO ALFA PENDULAR NO EIXO FERROVIÁRIO LISBOA-FARO

OPTIMUS – Cobertura GSM



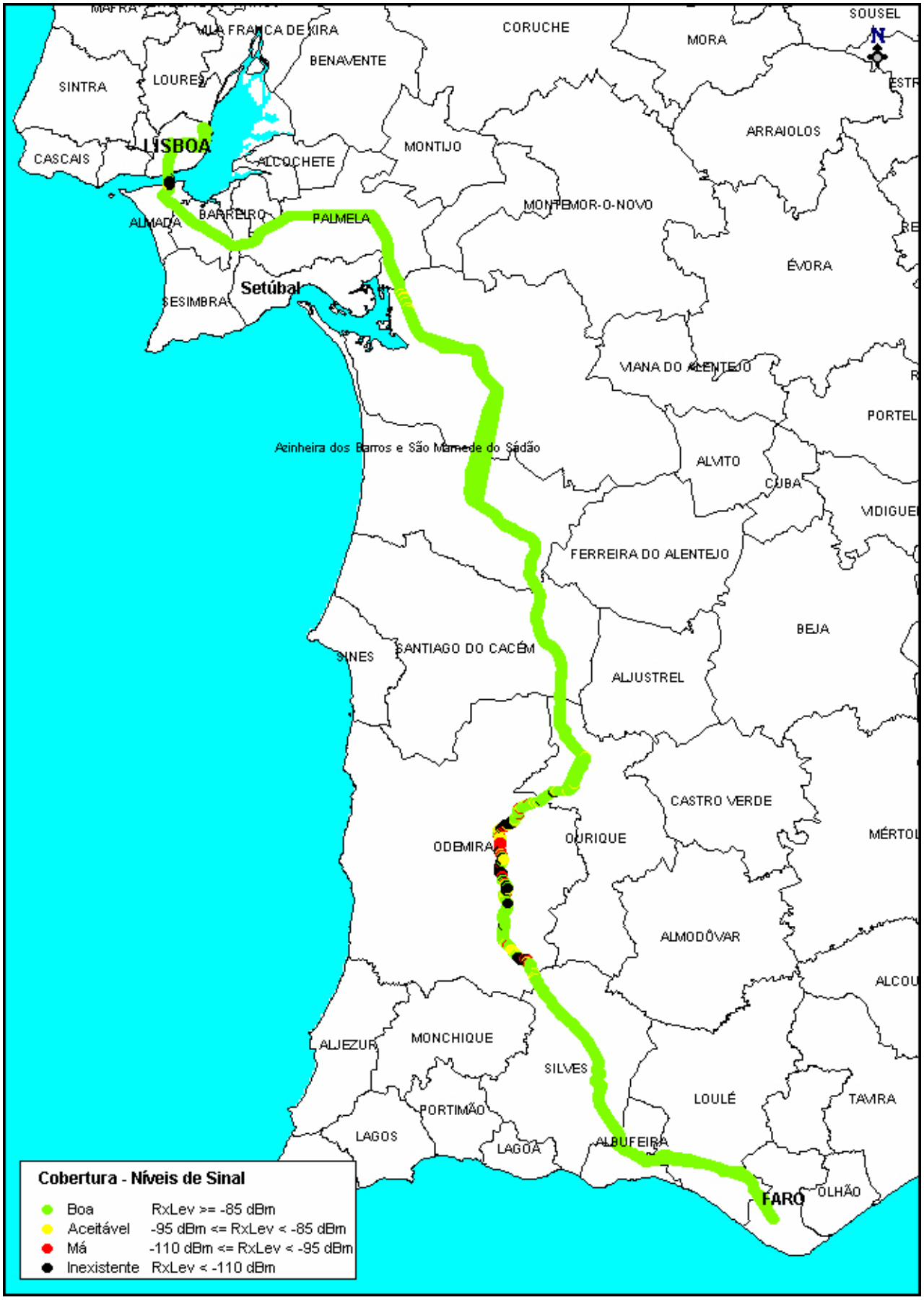
SERVIÇO ALFA PENDULAR NO EIXO FERROVIÁRIO LISBOA-FARO

TMN – Cobertura GSM



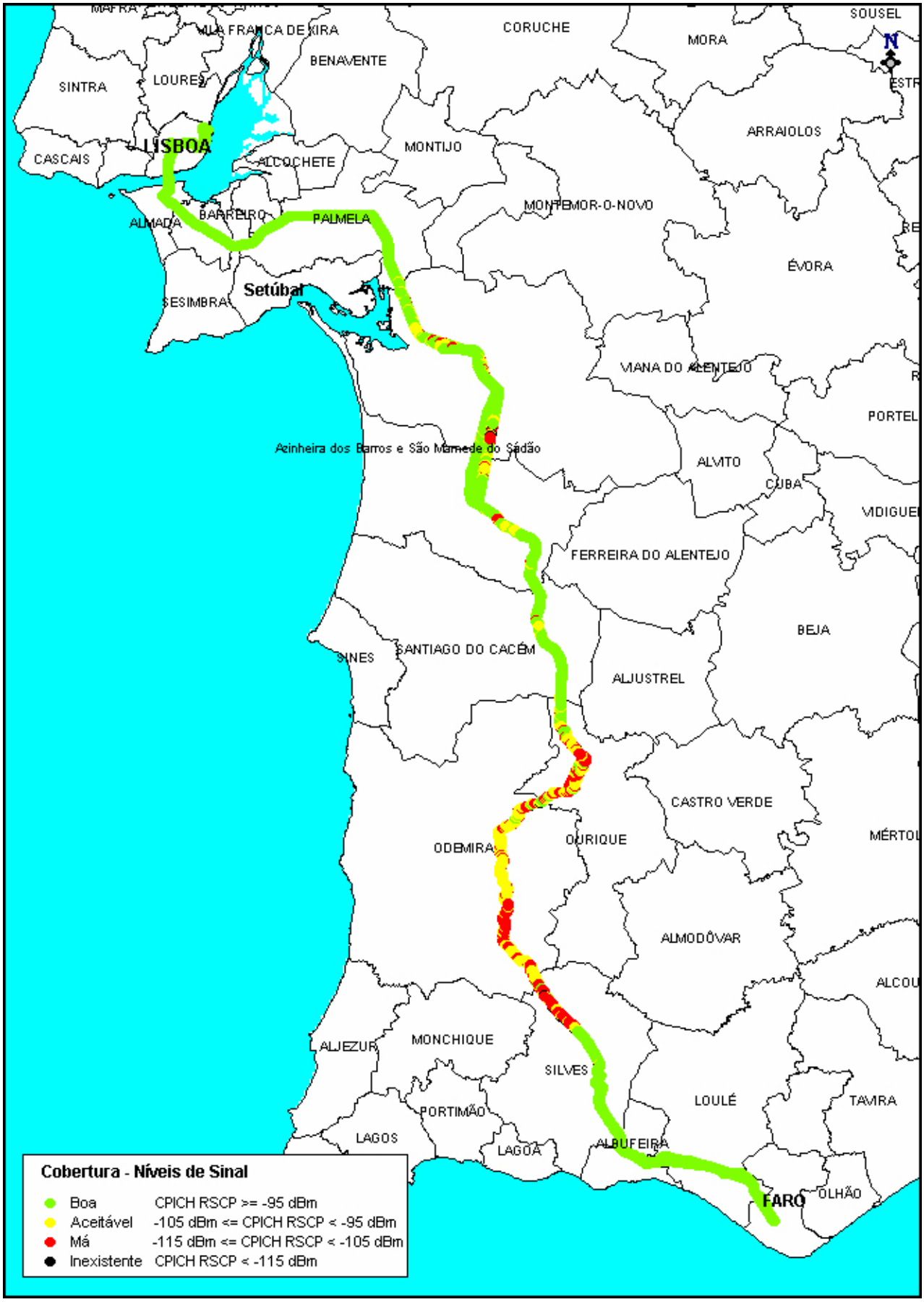
SERVIÇO ALFA PENDULAR NO EIXO FERROVIÁRIO LISBOA-FARO

VODAFONE – Cobertura GSM



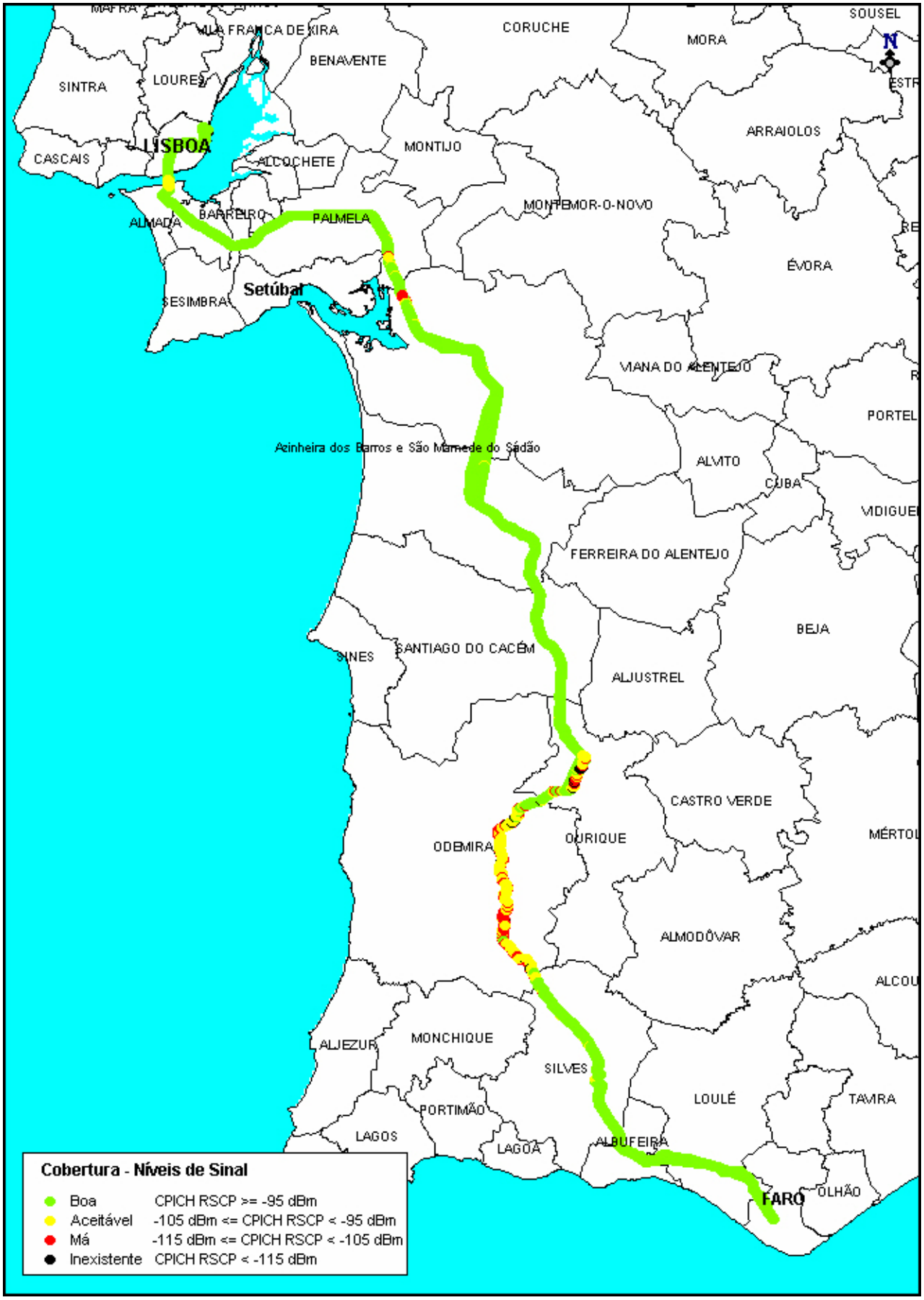
SERVIÇO ALFA PENDULAR NO EIXO FERROVIÁRIO LISBOA-FARO

OPTIMUS – Cobertura WCDMA



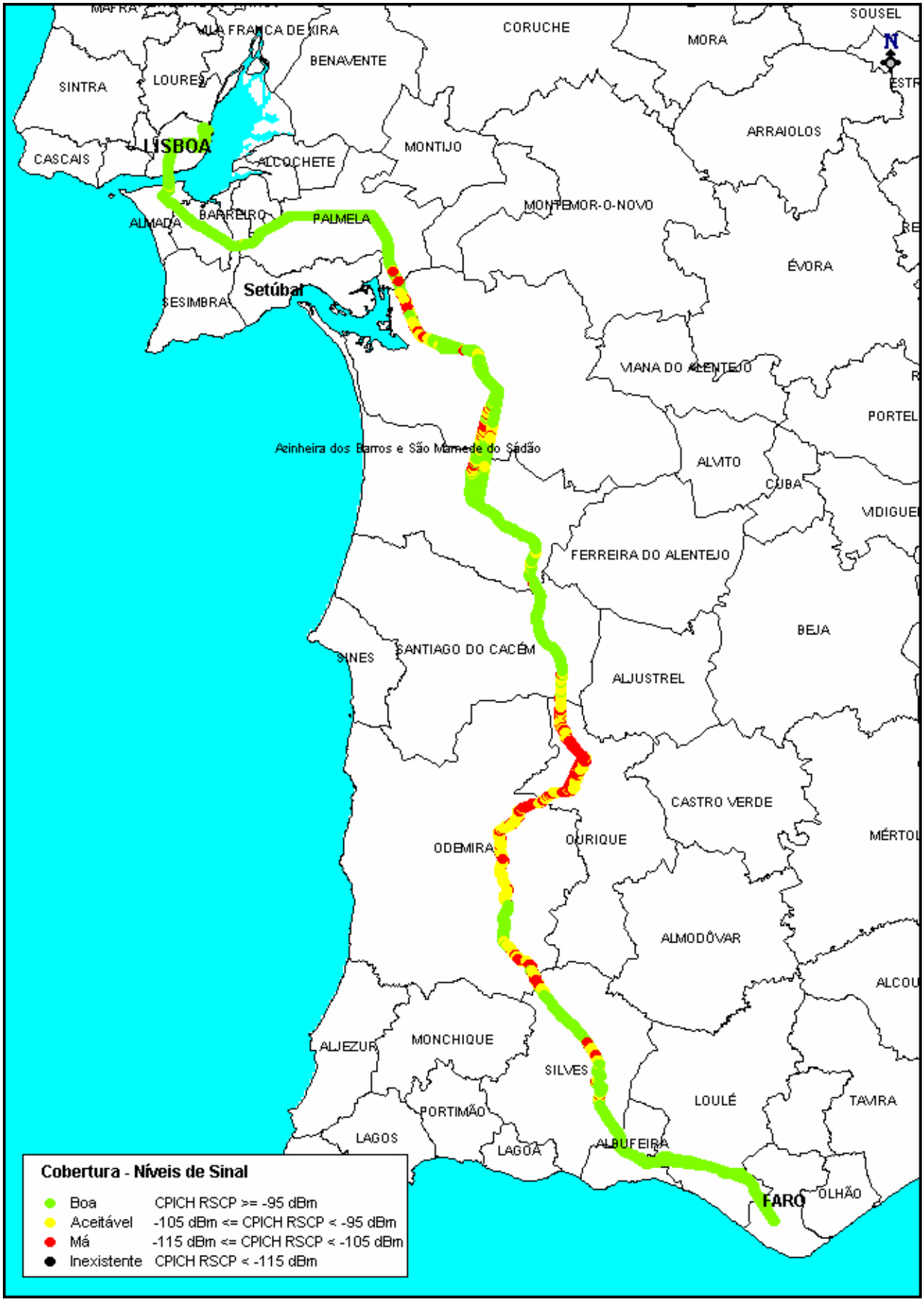
SERVIÇO ALFA PENDULAR NO EIXO FERROVIÁRIO LISBOA-FARO

TMN – Cobertura WCDMA



SERVIÇO ALFA PENDULAR NO EIXO FERROVIÁRIO LISBOA-FARO

VODAFONE – Cobertura WCDMA



4.3 GLOBAL DO SERVIÇO ALFA PENDULAR (BRAGA-PORTO-LISBOA-FARO)

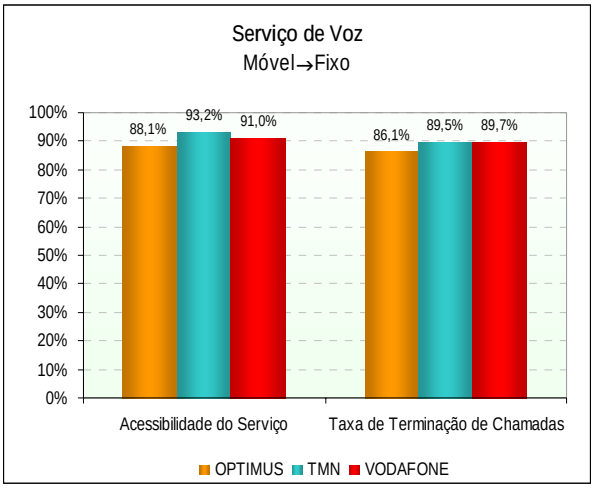
4.3.1 SERVIÇO DE VOZ (GSM)

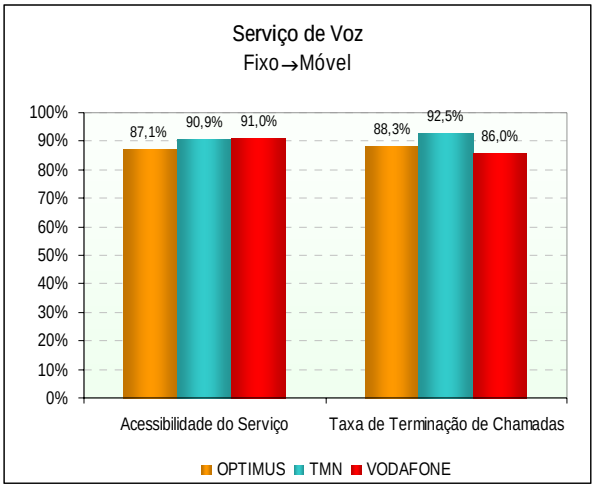
		OPTIMUS		TMN		VODAFONE	
		Móvel→Fixo	Fixo→Móvel	Móvel→Fixo	Fixo→Móvel	Móvel→Fixo	Fixo→Móvel
Chamadas Realizadas	Número de Chamadas	261	264	266	264	266	266
	Falhadas no Estabelecimento	31	34	18	24	24	24
	Falhadas Durante a Chamada	32	27	26	18	25	34
	Com Terminação Normal	198	203	222	222	217	208
	Acessibilidade do Serviço	88,1%	87,1%	93,2%	90,9%	91,0%	91,0%
	Taxa de Terminação de Chamadas	86,1%	88,3%	89,5%	92,5%	89,7%	86,0%
Estabelecimento das Chamadas	Número de Amostras (Chamadas)	230	230	248	240	242	242
	Tempo Médio [s]	5,8	7,4	5,9	7,5	4,9	6,9
	Tempo Máximo [s]	16,7	16,3	13,3	13,3	16,7	14,4
	Tempo Mínimo [s]	4,7	5,8	4,9	6,1	4,1	5,5
	Desvio Padrão [s]	1,4	1,6	0,9	0,8	1,4	1,2
Qualidade Áudio	Número de Amostras (Chamadas)	401	401	444	444	425	425
	Média [MOS]	3,74	3,71	3,80	3,72	3,73	3,69
	Máxima [MOS]	3,96	3,97	3,96	3,94	3,96	3,97
	Mínima [MOS]	2,34	1,99	2,11	1,64	2,58	2,18
	Desvio Padrão [MOS]	0,22	0,25	0,24	0,28	0,16	0,22

		OPTIMUS		TMN		VODAFONE	
		Móvel→Fixo	Fixo→Móvel	Móvel→Fixo	Fixo→Móvel	Móvel→Fixo	Fixo→Móvel
Erro de Precisão	Acessibilidade do Serviço	4,6%	4,7%	3,7%	4,1%	4,1%	4,1%
	Taxa de Terminação de Chamadas	5,2%	4,9%	4,5%	4,1%	4,5%	5,0%
	Tempo de Estabelecimento de Chamadas [s]	0,184	0,202	0,109	0,102	0,180	0,152
	Qualidade Áudio [MOS]	0,021	0,025	0,023	0,026	0,016	0,021

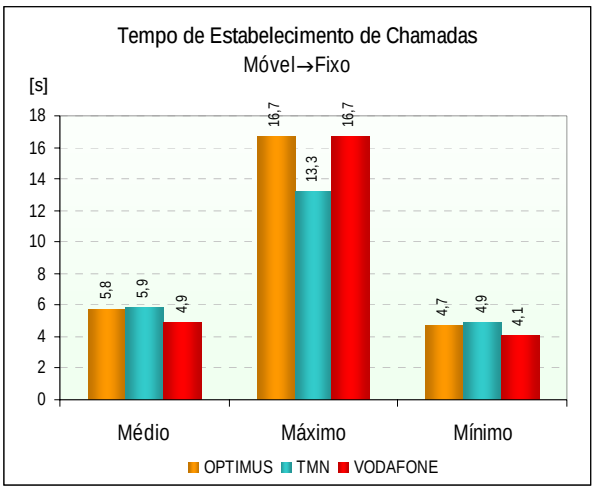
Nível de Confiança = 95 %

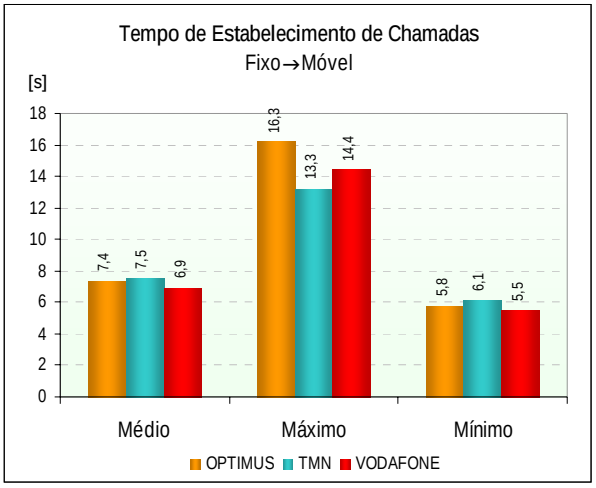
4.3.1.1 INDICADORES *ACESSIBILIDADE DO SERVIÇO* E *TAXA DE TERMINAÇÃO DE CHAMADAS*



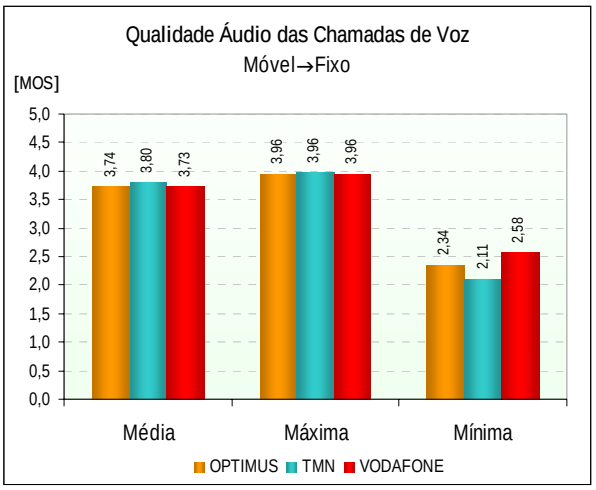


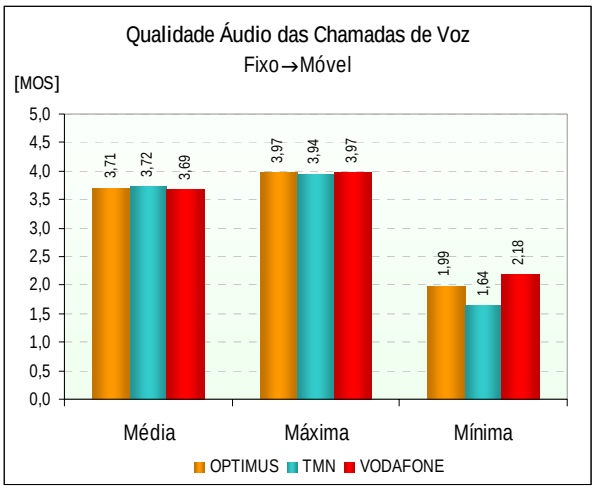
4.3.1.2 INDICADOR *TEMPO DE ESTABELECIMENTO DE CHAMADAS*



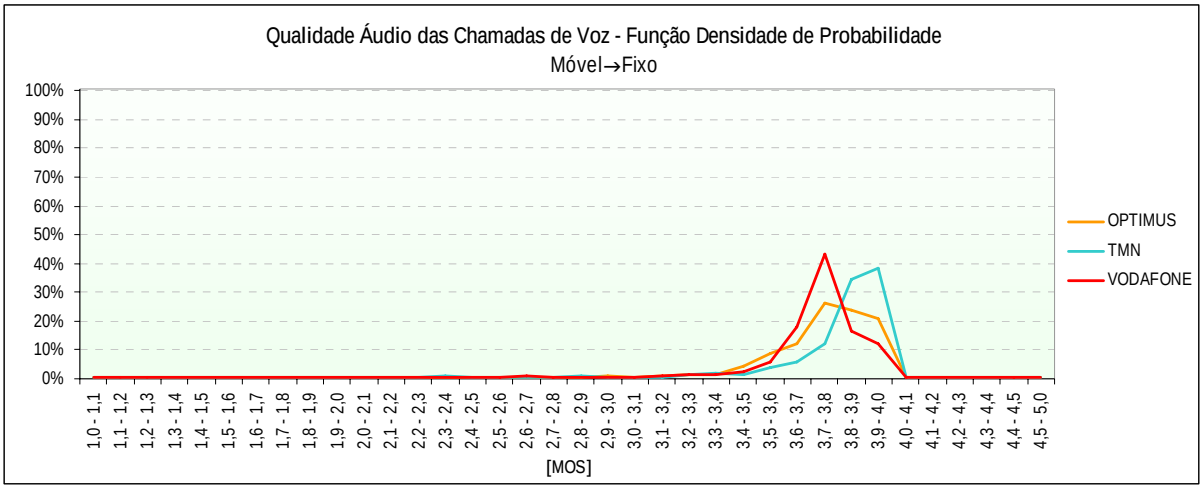


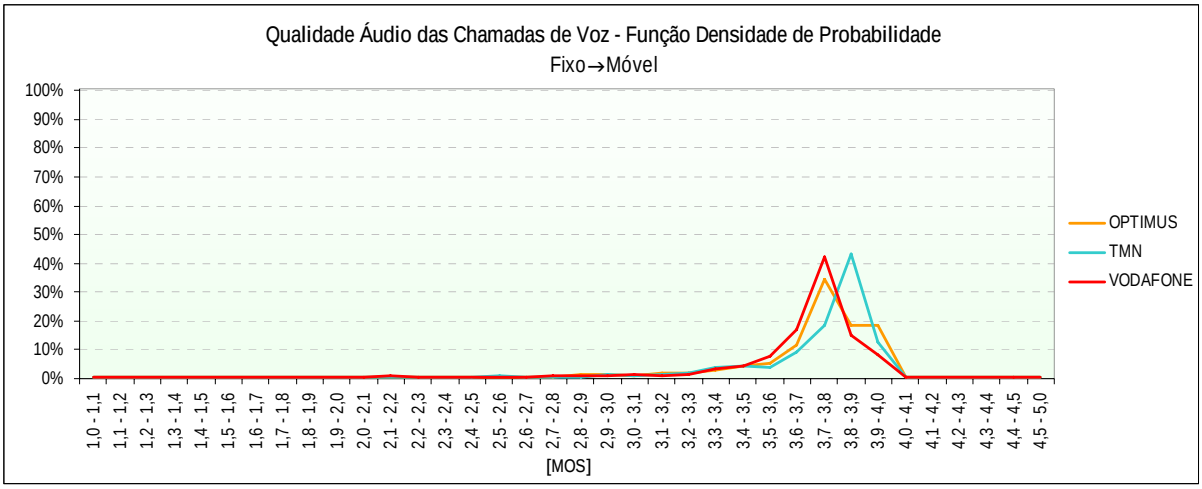
4.3.1.3 INDICADOR *QUALIDADE ÁUDIO DAS CHAMADAS DE VOZ*





4.3.1.4 FUNÇÃO DENSIDADE DE PROBABILIDADE DO INDICADOR *QUALIDADE ÁUDIO DAS CHAMADAS DE VOZ*





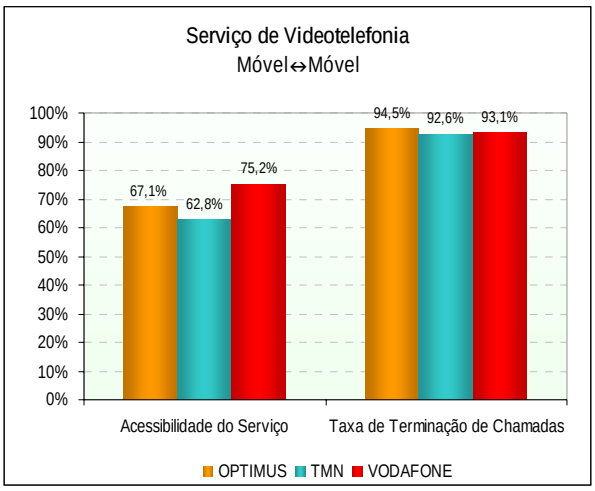
4.3.2 SERVIÇO DE VIDEOTELEFONIA (UMTS)

		OPTIMUS	TMN	VODAFONE
		Móvel↔Móvel	Móvel↔Móvel	Móvel↔Móvel
Chamadas Realizadas	Número de Chamadas	459	454	463
	Falhadas no Estabelecimento	151	169	115
	Falhadas Durante a Chamada	17	21	24
	Com Terminação Normal	291	264	324
	Acessibilidade do Serviço	67,1%	62,8%	75,2%
	Taxa de Terminação de Chamadas	94,5%	92,6%	93,1%
Estabelecimento das Chamadas	Número de Amostras (Chamadas)	308	285	348
	Tempo Médio [s]	8,3	9,6	6,9
	Tempo Máximo [s]	27,0	28,3	20,6
	Tempo Mínimo [s]	6,1	7,3	5,4
	Desvio Padrão [s]	2,4	2,0	1,7
Qualidade Áudio	Número de Amostras (Chamadas)	559	524	648
	Média [MOS]	3,84	3,80	3,83
	Máxima [MOS]	4,06	4,06	4,06
	Mínima [MOS]	1,00	1,00	1,00
	Desvio Padrão [MOS]	0,37	0,53	0,44
Qualidade Vídeo	Número de Amostras (Chamadas)	557	521	642
	Média [MOS]	3,00	3,03	3,09
	Máxima [MOS]	3,68	3,68	3,69
	Mínima [MOS]	1,92	1,00	1,67
	Desvio Padrão [MOS]	0,53	0,58	0,57

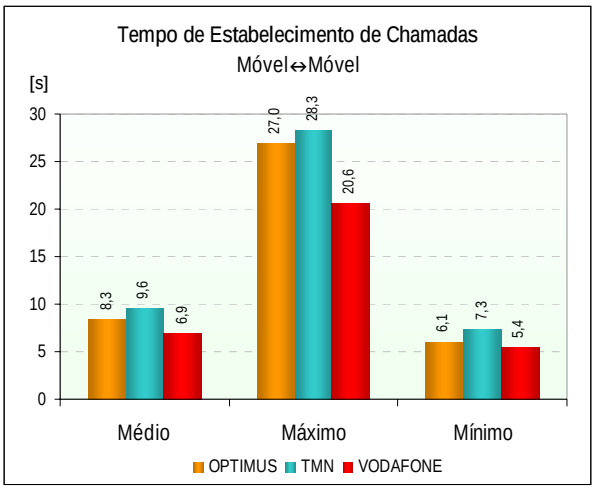
		OPTIMUS	TMN	VODAFONE
		Móvel↔Móvel	Móvel↔Móvel	Móvel↔Móvel
Erro de Precisão	Acessibilidade do Serviço	4,5%	4,6%	4,2%
	Taxa de Terminação de Chamadas	3,2%	3,7%	3,2%
	Tempo de Estabelecimento de Chamadas [s]	0,266	0,230	0,177
	Qualidade Áudio [MOS]	0,031	0,045	0,034
	Qualidade Vídeo [MOS]	0,044	0,050	0,044

Nível de Confiança = 95 %

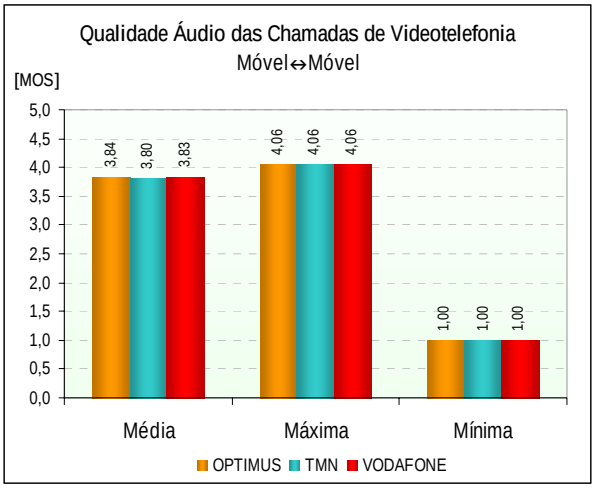
4.3.2.1 INDICADORES *ACESSIBILIDADE DO SERVIÇO* E *TAXA DE TERMINAÇÃO DE CHAMADAS*



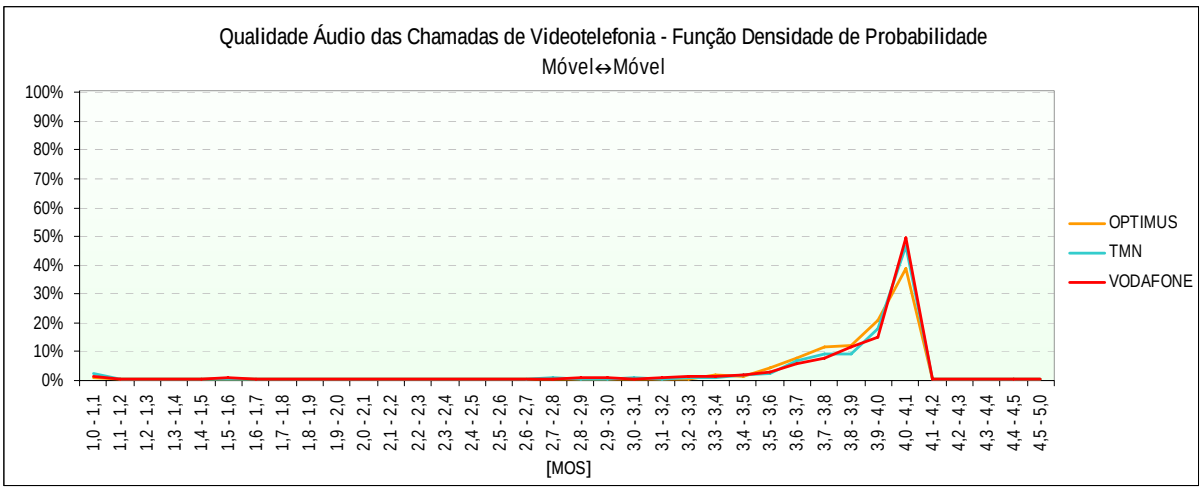
4.3.2.2 INDICADOR *TEMPO DE ESTABELECIMENTO DE CHAMADAS*



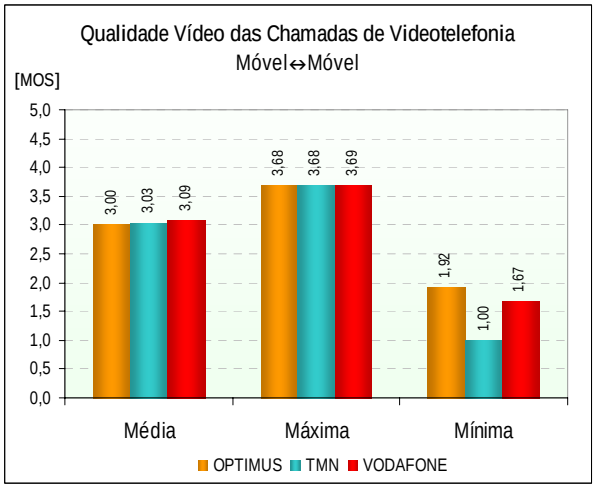
4.3.2.3 INDICADOR *QUALIDADE ÁUDIO DAS CHAMADAS DE VIDEOTELEFONIA*



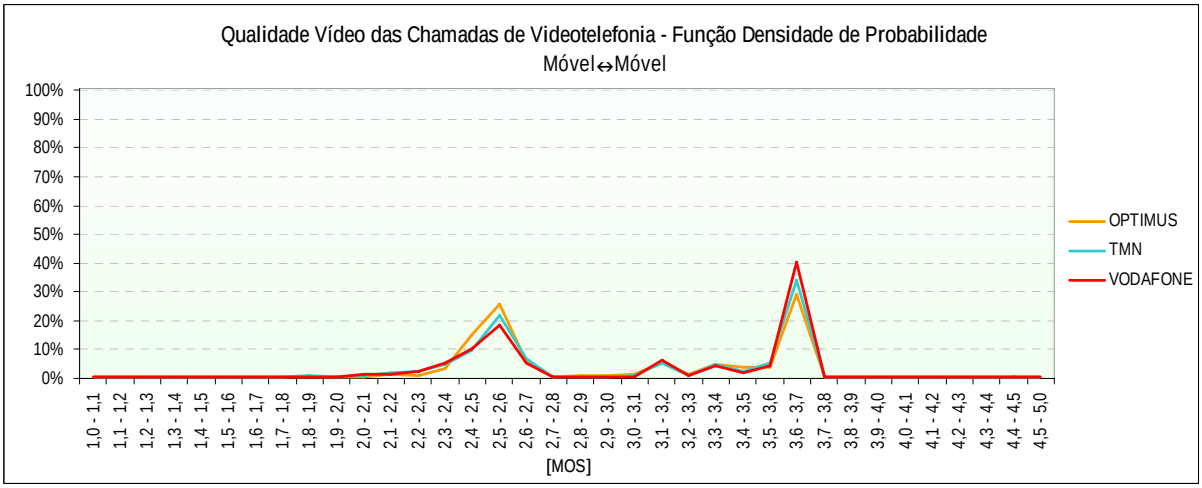
4.3.2.4 FUNÇÃO DENSIDADE DE PROBABILIDADE DO INDICADOR *QUALIDADE ÁUDIO DAS CHAMADAS DE VIDEOTELEFONIA*



4.3.2.5 INDICADOR *QUALIDADE VÍDEO DAS CHAMADAS DE VIDEOTELEFONIA*



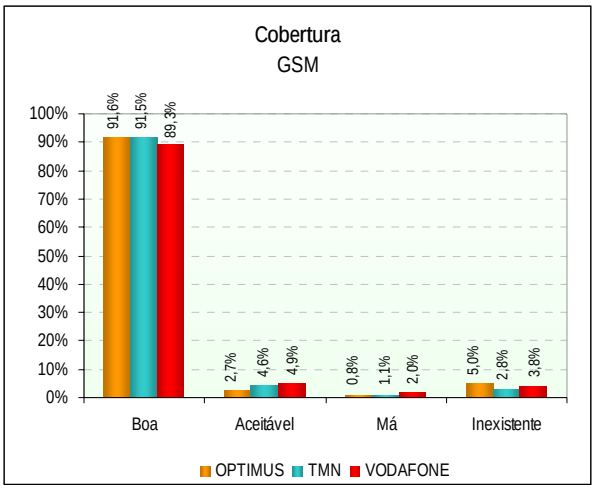
4.3.2.6 FUNÇÃO DENSIDADE DE PROBABILIDADE DO INDICADOR *QUALIDADE VÍDEO DAS CHAMADAS DE VIDEOTELEFONIA*



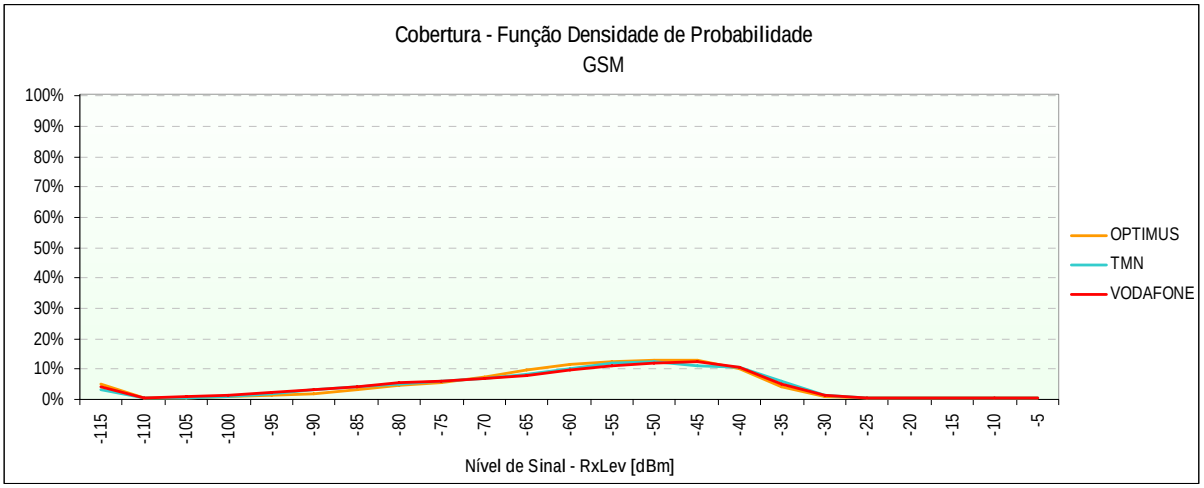
4.3.3 COBERTURA DAS REDES

		GSM			WCDMA		
		OPTIMUS	TMN	VODAFONE	OPTIMUS	TMN	VODAFONE
Cobertura	Número de Amostras (Medições)	99.836	99.789	99.887	33.174	33.286	33.108
	Nível Médio de Sinal [dBm]	-58	-58	-59	-79	-77	-80
	Nível Máximo de Sinal [dBm]	-15	-16	-16	-38	-40	-38
	Nível Mínimo de Sinal [dBm]	-115	-115	-115	-122	-122	-123
	Desvio Padrão [dBm]	19	19	20	18	17	17
	Boa	91,6%	91,5%	89,3%	80,6%	84,8%	79,6%
	Aceitável	2,7%	4,6%	4,9%	10,3%	8,4%	11,5%
	Má	0,8%	1,1%	2,0%	7,9%	5,4%	7,0%
	Inexistente	5,0%	2,8%	3,8%	1,3%	1,4%	1,9%

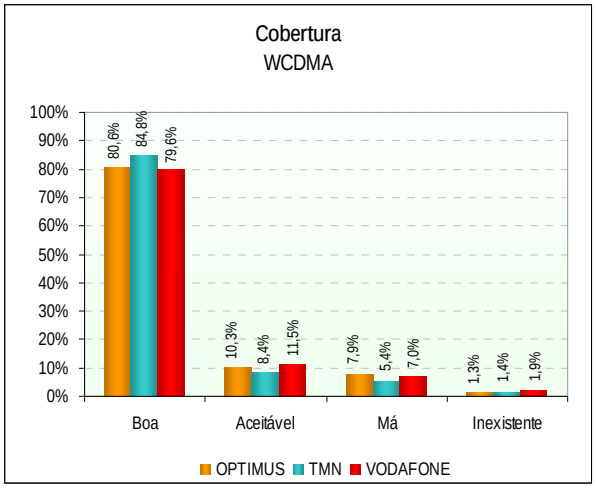
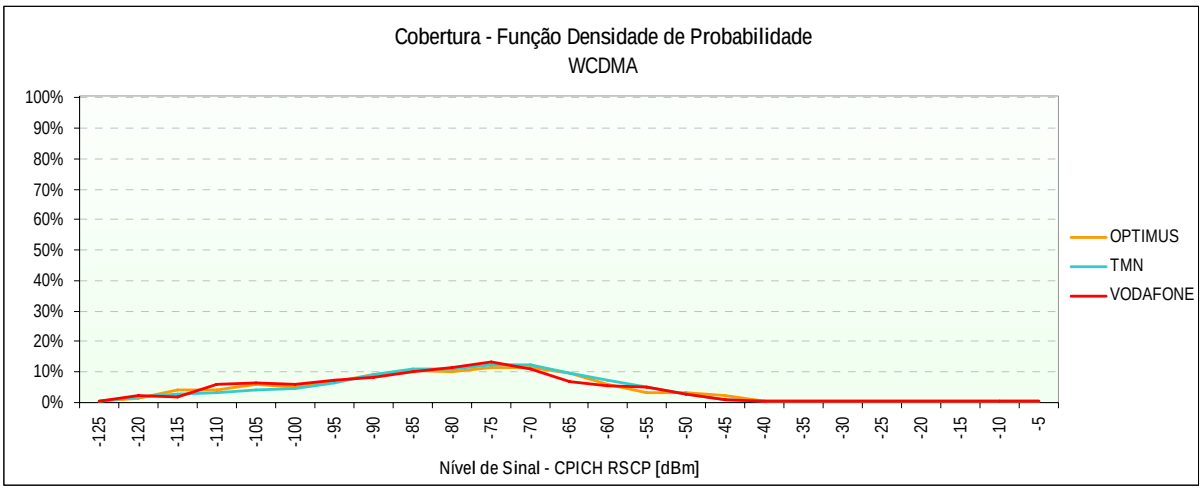
4.3.3.1 GSM



4.3.3.2 GSM - FUNÇÃO DENSIDADE DE PROBABILIDADE



4.3.3.3 WCDMA



4.3.3.4 WCDMA - FUNÇÃO DENSIDADE DE PROBABILIDADE