



CAPÍTULO VI. DESARROLLO

El procedimiento utilizado se puede desglosar en 5 puntos, los cuales hemos nombrado como: Realización de Mediciones, Integración, Adaptación, Creación y Desarrollo de Herramientas SW, Procesamiento de la Información, Análisis de Resultados, y Presentación de Resultados.



Figura 6.1. Proceso realizado en el proyecto.

6.1 Realización de Mediciones

Esta parte fue desarrollada por el equipo de trabajo de Brasil la cual consistió en planificar y realizar las rutas de cada una de las campañas, es decir, la trayectoria que recorrió el equipo de recepción durante la medición. Estas rutas se tomaron en cuenta en base al área de cobertura que ya se tiene para la transmisión analógica en FM.

Lo que se hizo fue planear dentro de la ruta el lugar donde se realizaría la medición de los puntos fijos. Desde el primer punto planeado se hizo la medición para recepción fija.

Durante el trayecto sobre el vehículo donde se transportaba todo el equipo de medición, se realizó la prueba en recepción en movimiento hacia el segundo punto, esto es, del punto uno al punto dos (notados en los archivos de datos como “P1 TO P2”). Llegando al punto número dos se tomó la segunda medición en recepción fija, y del punto 2 al punto 3 se obtuvo de nuevo una medición en movimiento (“P2 TO P3”), y así consecutivamente hasta terminar la ruta planificada.



Figura 6.2. Vehículo utilizado para realizar las pruebas fijas y de movimiento con la antena bicónica utilizada en UFMG.

La mayoría de las rutas contienen 4 mediciones en recepción fija y 4 en recepción en movimiento; aunque algunas de ellas contienen un mayor número de mediciones. Después de medir todos los puntos fijos, se realizó otra medición del último punto medido hasta el primer punto medido (por ejemplo, de P4 TO P1) sólo para recepción en movimiento. Todo ese procedimiento se llevó a cabo tanto para las rutas radiales como para las circulares y de igual forma para el modo 4QAM y 16QAM.

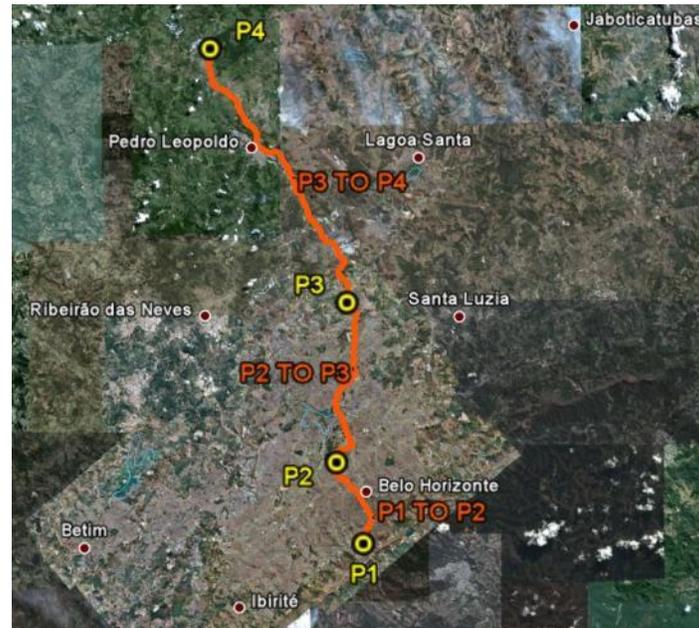


Figura 6.3. Ejemplo de una planificación de una ruta para Itatiaia, ruta radial R4.

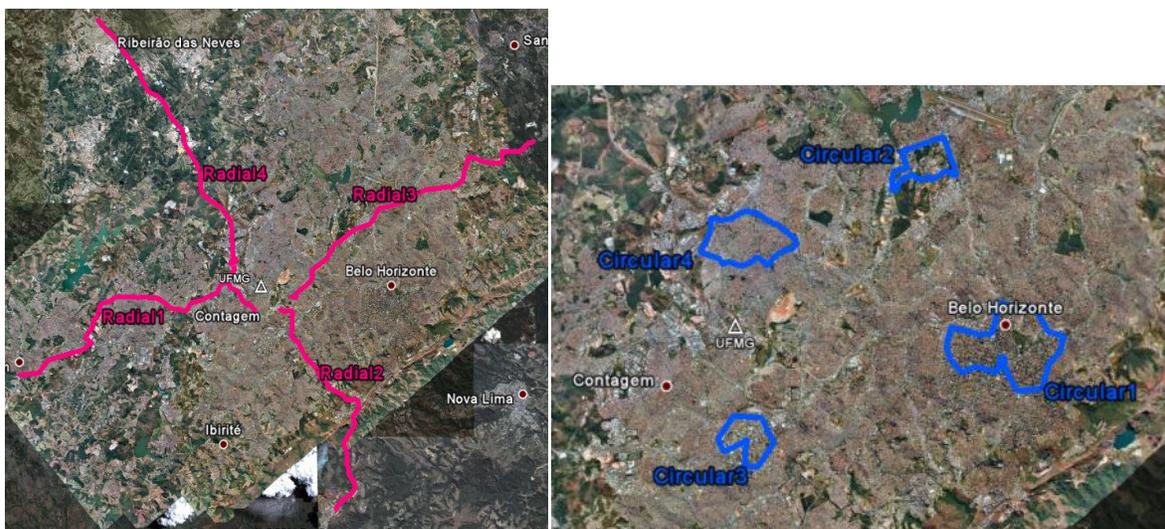


Figura 6.4. Planeación de rutas radiales (en color rosa) y circulares (en color azul) para UFMG



Figura 6.5. Planeación de rutas radiales (en color rosa) y circulares (en color azul) para Itatiaia

Para algunas rutas de la campaña de UFMG se realizaron pruebas en otra frecuencia de la que se tenía planificada debido a que las personas que hicieron las mediciones se percataron que existía una interferencia con otra radiodifusora, de la cual no se tiene información. La frecuencia para DRM+ utilizada en las primeras pruebas de UFMG era 104.3 MHz, y la frecuencia elegida para realizar de nuevo esas mediciones fue 104.7 MHz, teniendo la misma separación en frecuencia entre las señales analógica y digital (separación de 200 kHz); esa interferencia se pudo observar en el analizador de espectros.

En el espectro de la señal híbrida mostrado en la figura 6.6, se observan los canales adyacentes de la señal de DRM+ con frecuencia central de 104.3 MHz y de la señal de FM con frecuencia central de 104.5 MHz.

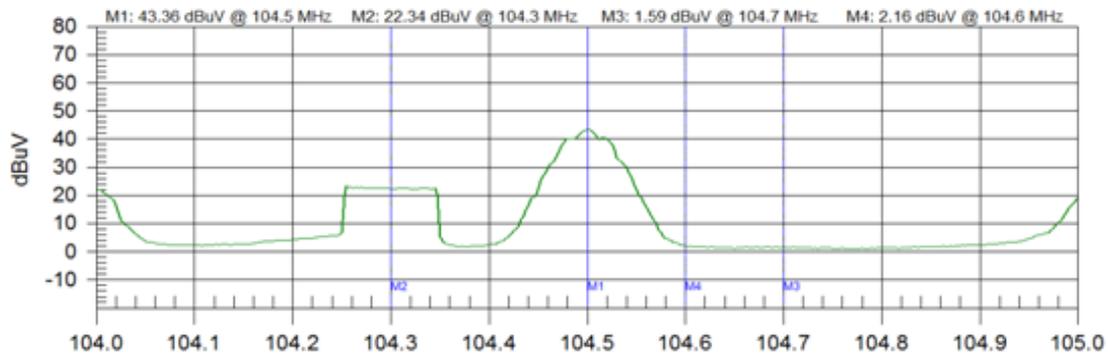


Figura 6.6. Espectro de la señal híbrida transmitida sin interferencia (señal de FM y de DRM+).

En la figura 6.7, la medición se realizó transmitiendo la señal de DRM+ en la frecuencia 104.7 MHz. Se observa que en la frecuencia 104.3 MHz existe una interferencia la cual afecta a la señal de DRM+. Es por eso que se decidió realizar una segunda medición en las rutas donde se percibía esta interferencia.



Figura 6.7. Espectro de la señal híbrida transmitida con interferencia (señal de FM y de DRM+).

En las campañas de Tv Cultura e Itatiaia no hubo interferencias en la frecuencia elegida para transmitir la señal digital.

Una vez finalizadas las pruebas se enviaron los datos al equipo de trabajo en México para procesarlos y analizar los resultados.



6.2. Integración, Adaptación, Creación y Desarrollo de Herramientas SW

6.2.1. Integración y Adaptación de Herramientas de SW

Del receptor DRM utilizado en la realización de las mediciones, se guardaron los resultados a través de una computadora en archivos con extensión .dump, formato en el que se enviaron a México todas las pruebas realizadas en Brasil.

Los archivos .dump cumplen con el estándar RSCI de la ETSI [20] el cual contiene las especificaciones técnicas para enviar información del estado del receptor DRM y las órdenes de control del mismo; en ese estándar se explica a detalle toda la información que ese receptor puede y debe proporcionar, el formato en el que se encuentran los datos y la definición de las variables.

El formato RSCI (Receiver Status and Control Interface) está formado por el formato en ASCII para representar los títulos de las variables y por el formato en Hexadecimal para definir, tanto la longitud de las variables como los valores contenidos. Esos datos están contenidas en tramas DRM las cuales se generan cada 100 [ms].

Después de conocer la información de los archivos .dump, nos proporcionaron unos programas en Matlab creados por la Universidad del País Vasco (UPV) y por RF Mondial. El programa llamado “Procesa” de la UPV fue utilizado para realizar pruebas en DRM30, el cual proporciona mucha información pero no está diseñado para leer archivos con formato RSCI. El programa “Parse” de RF Mondial se utilizó en pruebas para DRM, puede leer archivos RSCI y genera gráficas muy básicas de los datos leídos de esos archivos. El objetivo era basarnos en ellos y adaptarlos a lo que nosotros necesitábamos para el procesamiento de la información de las pruebas de Brasil para DRM+ en la banda de FM.



El programa “Procesa” fue diseñado para realizar todos los cálculos de SNR, AQ, Distancia Recorrida en recepción en movimiento y Distancia del Transmisor hacia al punto fijo medido; además el programa da el formato conveniente a los datos para guardarlos en un archivo .txt y poder procesarlos fácilmente. No podíamos utilizar directamente este programa ya que no es capaz de interpretar los datos en formato RSCI.

El programa “Parse” se encarga de leer un solo archivo .dump, convirtiendo esos datos con formato específico (formato RSCI) en otro formato para poder analizarlos de manera correcta, también en ese programa se obtiene una gráfica con los valores de SNR, Velocidad del Vehículo y Número de Tramas de Audio recibidas correctamente.

El objetivo era generar un programa que combinara la lectura de archivos RSCI del programa “Parse” con la interpretación de resultados del programa “Procesa”.

Necesitábamos comprender el código utilizado en “Parse” y “Procesa”, es decir, entender de qué forma se escribieron los programas, lo cual fue muy complicado ya que debíamos conocer el procesamiento para leer los archivos .dump en base a la información contenida en ellos.

Entre las cuestiones importantes estuvo conocer la función de cada una de las variables utilizadas en los programas, y con ello la metodología que se empleó al realizarlos, saber qué consideraciones se habían tomado en cuenta en la programación, qué resultados se obtenían y de qué forma éstos se guardaban para tener acceso a esa información.

Uno de los problemas a los cuales nos enfrentamos al realizar el programa, fue que no todas las tramas DRM de los archivos .dump contenían información. Cada trama de audio tiene una duración de 40 [ms], y cada trama DRM contiene 5 tramas de audio, por lo que se tenía información cada 200 [ms].



Debido a ello, en una trama DRM de 100 [ms] se transmiten los resultados de la recepción de 5 Tramas de Audio y en la siguiente trama no se transmite ningún dato. Esto tuvo que considerarse dentro del programa, en una parte donde descartara esas tramas DRM en las cuales no se contenía información.

El algoritmo para realizar esta tarea fue muy complejo, ya que la existencia de tramas vacías no tenía ningún interés para nosotros pero sí representaban un problema para el manejo de la información útil, pues estas tramas vacías y las tramas con información llevaban una secuencia alternada.

Sin embargo, esta secuencia se veía alterada en repetidas ocasiones por diversos motivos, como una diacronía con el receptor y el transmisor por ejemplo, ocasionando una aparición aleatoria de tramas vacías y siendo esto un problema en el manejo de datos.

Vimos que había muchas opciones para una posible solución, entre ellas estaba tomar en cuenta sólo las tramas importantes, otra solución era eliminar de la matriz las tramas inútiles reemplazándolas por tramas con información a manera de recorrer y acortar los renglones de las matrices, y finalmente la idea de crear nuevas matrices con la información útil.

El ejemplo más claro de esto ocurre con la variable “*rafs*”, definido en la norma de la ETSI para el formato RSCI [14], que muestra el número de tramas de audio totales y las tramas corruptas por cada trama DRM. El programa crea una variable llamada *rafs* que contiene ambos valores. Si se hace con el programa original (“Parse”) se nota que hay muchos valores incongruentes (genera valores 9999 cuando el valor de tramas totales sólo puede ser de 5 o de 10).



Estos valores incongruentes indican tramas vacías y no eran útiles para el procesamiento de información. Por ello fue necesario idear una manera de descartarlas de las variables para que no interfirieran con los cálculos estadísticos. Sin embargo, esos datos aparecían en muchas ocasiones de manera aleatoria y por varios renglones de la matriz continuamente, además estos valores corruptos se encontraban intercalados con los valores reales.

Esto provocó que el algoritmo tuviera una gran complejidad para detectar cuando los valores correspondían a una mala recepción (datos a tomar en cuenta) o a datos incorrectos (datos a descartar).

La solución a este problema la hicimos de forma dinámica, de tal manera que si hubiese cualquier valor corrupto mayor al total de tramas de audio se desechara el dato y no sólo descartar los valores de 9999. También observamos que para las demás matrices los lugares donde se encontraron valores incongruentes para rafs eran los mismos para las demás variables (rsnr “SNR”, rsta “*Status of Receiver*”, fmjd “*Time and date in ASCII notation (tiempo)*”, rpro “*Type of RX_STAT profile*”). Así eliminando los errores de una matriz bastaba para obtener todos los datos de manera correcta. Elegimos rafs como base para hacer las correcciones porque contiene valores conocidos y constantes (las tramas totales de audio solo pueden ser 5 o 10).

Cada función que integran los programas “Parse” y “Procesa” se encarga de algo en específico. Algunas funciones de “Parse” tienen como finalidad buscar el archivo que contiene la información con una extensión .dump, así como leer los datos contenidos en los archivos .dump y convertirlos en otro formato para su análisis.

En “Procesa” existe una función dedicada a guardar los resultados en archivos con un formato definido y con extensión .txt. Otra función importante que forma parte de “Procesa”, es donde se calculan los valores de SNR, la Calidad de Audio (AQ, *Audio Quality*), la Distancia del Transmisor hacia al punto fijo medido, la Distancia Recorrida, la Velocidad en recepción en movimiento, así como la Duración de las mediciones.



De las actividades para integrar las Herramientas de SW nos encargamos 2 equipos de trabajo, uno enfocado a la obtención de archivos KML, el cual es un formato que se utiliza para mostrar información geográfica en navegadores terrestres como lo es el software de Google Earth, con la finalidad de mostrar de manera gráfica el área de cobertura en base al AQ, incluyendo el valor de SNR de cada medición.

El otro equipo se encargó de obtener los archivos .txt los cuales contienen todos los valores necesarios para calcular los umbrales de recepción por medio del SNR y AQ, los cuales servirán para obtener el área de cobertura.

Ambos equipos nos basamos en los programas “Parse” para leer los datos contenidos en los archivos .dump. Sin embargo, el equipo encargado en la obtención de archivos para Google Earth consideraron un programa más, “SW DRM+ GE”, el cual crea archivos KML con la posición de las pruebas en base a la longitud y latitud de los puntos de medición.

El equipo encargado en obtener los umbrales de recepción con ayuda de los resultados globales, se basó en el programa de “Procesa” de la UPV, donde se realizan todos los cálculos y donde se presentan los resultados por medio de archivos con extensión .txt.

Una vez entendido el funcionamiento de los programas, se tomó el mismo método utilizado para el procesamiento de datos, integrando en un programa ciertas partes de “Parse” y “Procesa”, y en otro programa algunas funciones de “Parse” y “SW DRM+ GE”.

Los programas integrados fueron nombrados como “SW DRM+ GE” (nombre original) para obtener los archivos para Google Earth, y “Parse-Procesa” para obtener los resultados globales y calcular los umbrales de recepción.

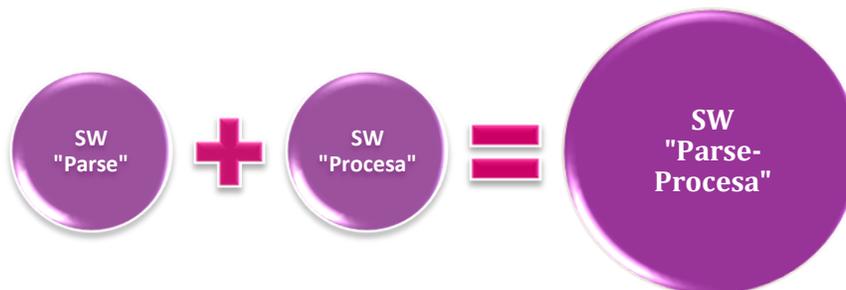


Figura 6.8. Integración de SW creando “Parse-Procesa”

Al integrar los programas se descartaron funciones que no eran útiles. También se modificaron algunas funciones para que la búsqueda de un archivo .dump no se limitara a encontrar uno, sino que hiciera el procesamiento para una serie de archivos que estuvieran en un árbol de directorios.

El programa “Parse-Procesa” funciona para las 3 campañas de mediciones realizadas, inclusive puede servir para cualquier otra campaña de DRM+ siempre y cuando los datos estén contenidos en archivos .dump y en formato RSCI. La distinción entre radiodifusoras se realiza en una función del programa llamada “ProcesaAQ”, donde se encuentra la ubicación exacta de cada una de ellas.

Al iniciar el programa, el usuario debe seleccionar la ruta en la que se guardará el archivo .txt con los resultados y en seguida seleccionar la ruta en la que buscará los archivos .dump que se quieran analizar. Después de ello, el usuario debe ingresar el número del transmisor deseado dependiendo de cuál sea la campaña a procesar. Esas opciones para elegir la radiodifusora son las siguientes:

- 1) Belo Horizonte DRM+. UFMG
- 2) Sao Paulo DRM+. TV Cultura
- 3) Belo Horizonte DRM+. Itatiaia



Después del cálculo de las variables, se guardan las estadísticas junto con sus encabezados y títulos en el archivo de texto (extensión .txt) que se mencionó anteriormente. En el caso de que existan más archivos .dump dentro del directorio de lectura, el programa regresa a la función principal del programa (“principal.m”) después de escribir los datos, buscará el siguiente archivo .dump y realizará las mismas acciones hasta que no existan más archivos.

“Parse-Procesa” no es un Software profesional, por lo que puede tener algunos errores. Los problemas esperados ocurren cuando los archivos están corruptos, es decir, que existan errores en el formato o que no contengan suficientes datos para el análisis. Cuando esto sucede, aparece un mensaje el cual dice “Hay un problema con el archivo Ruta del archivo ”; se debe oprimir cualquier tecla y el análisis continuará sin tomar en cuenta ese archivo.

Los 3 parámetros más importantes para calcular los umbrales de recepción y que se debían obtener con “Parse-Procesa” son: Campo Eléctrico, SNR y el número de tramas de audio recibidas correctamente, llamada también Calidad de Audio (AQ). Este último parámetro es el único que define si la transmisión fue recibida correctamente o no. La forma de calcular el AQ en porcentaje es la siguiente:

$$AQ (\%) = \frac{\text{Número de tramas de audio decodificadas correctamente}}{\text{Número de tramas de audio transmitidas}} \quad (6.1)$$

Originalmente el programa tomaba el número de tramas correctas; para las medidas en DRM+ las tramas contienen el número de tramas incorrectas, por lo que se modificó esa pequeña parte del programa.

El método para obtener el parámetro de SNR (Signal to Noise Ratio) no está definido en el estándar de la ETSI [14], ya que depende de cada uno de los receptores utilizados. El programa usa directamente los datos generados por el receptor DRM+ y grabados en los archivos .dump.



El programa “Parse-Procesa” analiza medidas tanto en recepción fija como en recepción en movimiento. Para las medidas en movimiento se agregó una parte donde arroja como salida 2 vectores, un vector contiene la Distancia Recorrida donde se tiene un AQ acumulado de 95%, y en el otro vector para un AQ acumulado de 90%. Esto con el fin de obtener una Distancia Aproximada para definir el área de cobertura para recepción en movimiento.

Para obtener la Distancia Recorrida para mediciones en movimiento, y la Distancia del punto fijo medido al Transmisor, se realiza una conversión de coordenadas geográficas a coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator) la cual es una forma de representar a la Tierra en un plano y donde existe la adecuada correspondencia entre los puntos del globo terrestre y el plano, en la proyección UTM la Tierra es separada en husos. Se define un huso como las posiciones geográficas que ocupan todos los puntos comprendidos entre 2 meridianos. Después de obtener la conversión de coordenadas geográficas en coordenadas UTM se obtiene la distancia de un punto a otro por medio del teorema de Pitágoras.

En las medidas en movimiento también se consideraron los casos en los que el receptor no estuviera en funcionamiento, como son el encendido del mismo, el apagado o que el receptor perdiera sincronía con la señal. Estos últimos casos fueron los de mayor dificultad pues al presentarse estos casos era difícil saber en qué momento deberían tomar datos como correctos, pues en ocasiones aparecía un único dato aparentemente correcto y seguido del dato correcto había más bloques de datos incongruentes, incluso hubo archivos sin un solo dato correcto. En la mayoría de los casos los archivos *.dump* contenían alrededor de 10,000 datos lo que también complica el manejo de la información.



6.2.2 Creación de Herramientas de SW

No todos los parámetros se obtuvieron del programa “Parse-Procesa” debido a que los archivos .dump de las pruebas realizadas no contenían algunos valores, tal es el caso del Campo Eléctrico el cual se tuvo que obtener de manera diferente. Por esa razón se crearon otras herramientas para el cálculo de ese parámetro importante para conocer los umbrales de recepción.

El campo eléctrico se puede calcular de la siguiente manera:

$$E \left(dB \left[\frac{\mu V}{m} \right] \right) = V \text{ dB}[\mu V] + K \text{ dB} \left[\frac{1}{m} \right] + \alpha \text{ dB} \quad (6.2)$$

Donde E es el Campo Eléctrico, V es el voltaje de la señal, K es el factor K de la antena y α son las pérdidas en el cable y las causadas por atenuadores, filtros o amplificadores. Las pérdidas se consideraron en la campaña de Itatiaia, donde se utilizó un divisor de potencia para las pruebas.

El factor K se puede calcular por medio de la Ganancia de la Antena Receptora y de la frecuencia utilizada. La fórmula usada [21] para calcular este factor (en unidades lineales), para una resistencia de la antena $R=50 [\Omega]$, es la siguiente:

$$K = \frac{f}{30.81 * \sqrt{G_i}} \quad (6.3)$$

Donde f es la frecuencia utilizada en [MHz] y G_i es la ganancia de la antena receptora referida a una antena isotrópica.

La variable que nos hacía falta para obtener el Campo Eléctrico es el Voltaje del Canal, éste se puede calcular por medio de la Potencia del Canal. Basándonos en los espectros de la señal híbrida la cual proporciona la Potencia obtenida en cada frecuencia, se integran los valores contenidos en todo el ancho de banda de la Señal la cual queremos analizar, resultando la Potencia del Canal. De esta manera se puede obtener la Potencia del Canal tanto para FM como para DRM+.

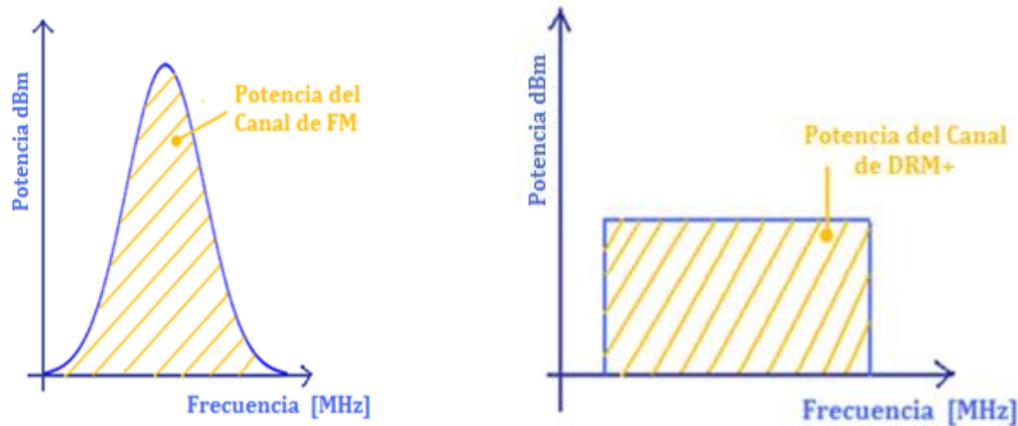
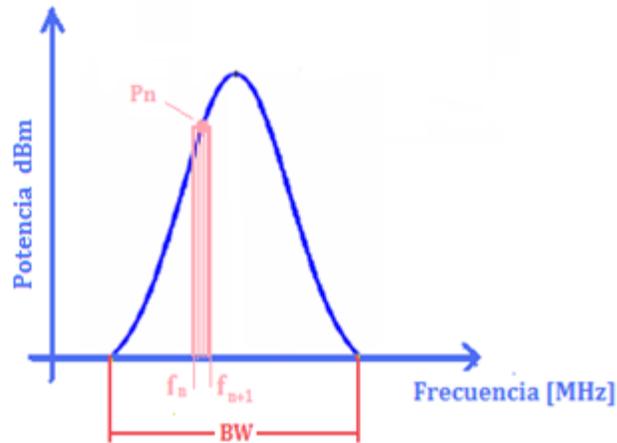


Figura 6.9. Potencia del Canal de la Señal de FM y de la Señal de DRM+.

Para integrar los valores de Potencia contenidos en la señal para FM, se suman cada una de las Potencias en [W] de los puntos que forman parte de la Señal multiplicados por su respectiva frecuencia en [MHz]. Se debe considerar también el ancho de banda (BW) de la señal entre el ancho de banda de resolución (RBW) utilizada en los espectros de la señal.

A esta división se le conoce como factor de corrección. Éste se debe considerar porque el analizador de espectros hace un barrido de frecuencias con un filtro selectivo, el cual determina valores de potencia a cada rango de frecuencias de dicho filtro.

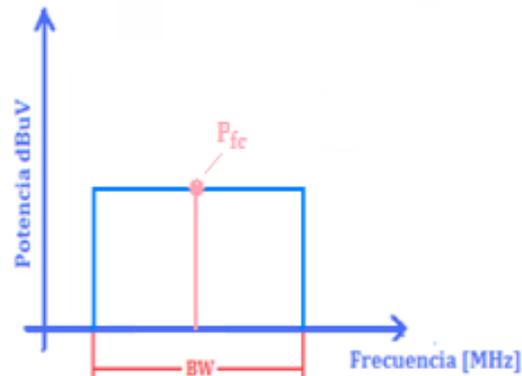
Es decir:



$$\text{Potencia del Canal de FM [W]} = \sum_{n=1}^{N-1} \left[P_n * \frac{(f_{n+1} - f_n)}{RBW} \right] \quad (6.4)$$

Donde P son las Potencias contenidas dentro del ancho de banda de la señal en [W], f son las frecuencias en las que el analizador de espectros ha realizado las mediciones en [MHz], BW es el Ancho de Banda de la señal en [Hz] y RBW es el Ancho de Banda de Resolución en [Hz].

Para una señal de DRM+ no es necesario integrar cada una de las Potencias contenidas dentro del ancho de banda de la señal, debido a que la señal es uniforme. Por ello basta con tomar en cuenta solo la Potencia medida en la frecuencia central, multiplicarla por el Ancho de Banda de la señal y dividirlo entre Ancho de Banda de Resolución.



$$\text{Potencia del Canal de DRM} + [W] = P_{fc} * \left(\frac{BW}{RBW}\right) \quad (6.5)$$

Donde P_{fc} es la Potencia medida en la frecuencia central de la Señal de DRM+ en [W], BW es el Ancho de Banda en [Hz] de la señal de DRM+ y RBW es el Ancho de Banda de Resolución en [Hz].

Para calcular las potencias debemos convertir el valor del voltaje obtenido del espectro de la señal en unidades lineales, basándonos en la ecuación 6.6:

$$V (dB\mu V) = 20 * \log_{10} \left(\frac{v}{1[\mu V]}\right) \quad (6.6)$$

De la ecuación 6.6, se despeja el Voltaje correspondiente a cada frecuencia medida dentro del ancho de banda de la señal, esto es:

$$v [\mu V] = 10^{\frac{V (dB\mu V)}{20}} \quad (6.7)$$

Mediante el Voltaje de la Señal en unidades lineales se puede obtener la Potencia, la cual se calcular de la siguiente forma:

$$P = \frac{V^2}{R} \quad (6.8)$$



Donde P es la Potencia en [W], V es el Voltaje en [V] y R es la Impedancia de carga de la antena (en el caso de nuestras mediciones: 50 [Ω]).

La Potencia obtenida de la ecuación 6.8 es la Potencia correspondiente a una sola frecuencia (una medida del analizador de espectros) y no a todo el canal, por lo que necesitamos aplicar la ecuación 6.4 para obtener la Potencia del Canal de la señal de FM o bien, aplicar la ecuación 6.5 para calcular la Potencia del Canal de la señal de DRM+.

Después de haber obtenido la potencia del canal de la señal de DRM+, se realizó el método inverso con el que se obtuvo dicha potencia, esto con el fin de obtener el Voltaje del Canal para calcular el campo eléctrico.

Esto es, despejando de la ecuación 6.8 el Voltaje resultando:

$$V = \sqrt{P * R} \quad (6.9)$$

Donde V es el Voltaje del Canal en [V], P es la Potencia del Canal en [W] y R es la Impedancia de carga de la antena (50 [Ω]).

Una vez calculado este voltaje, se convierten las unidades lineales a decibeles con la ecuación 6.6 y después de ello se puede aplicar la ecuación 6.2 para obtener el valor del campo eléctrico en $(dB \left[\frac{\mu V}{m} \right])$.

Al principio se obtenían estas potencias manualmente mediante una hoja de cálculo en Excel y visualizando imágenes con el programa HHST (Handheld Software Tools) sin poder hacer en éste más que medir con un cursor en el espectro. Esto era muy tardado y tomamos la decisión de optimizar este cálculo en tiempo y calidad, automatizándolo con un programa.



La idea surgió del mismo programa de parse y su lectura de archivos, pues nos dimos cuenta que el programa con el que se veían los espectros en frecuencia de las señales podía generar archivos de extensión `.txt` con todos los datos para hacer los cálculos y en vez de escribir uno por uno o copiar y pegar manualmente nosotros esos datos, Matlab podía realizar la lectura y cálculo ahorrando mucho tiempo y teniendo resultados más confiables.

El programa creado para la campaña de UFMG fue nombrado “potenciasFM.m”. Ese programa lee un archivo `.txt` el cual es obtenido al exportar los datos del espectro con ayuda del software HHST, las variables de entrada que el programa necesita para calcular la potencia del canal son la frecuencia inicial y la frecuencia final del ancho de banda que contiene la señal que se desea analizar. Ese programa sirve para calcular tanto la Potencia de Canal de la Señal de FM como la de DRM+ (en [W] y en dBm).

Entre los principales problemas de los archivos se encontró que los archivos `.txt` también contenían datos alfanuméricos y esto complicaba la lectura del mismo, ya que al leer el archivo éste tenía el formato de los datos como caracteres y no como números.

Lo que se hizo fue buscar el encabezado que indicara que a partir de ese dato se encontrarían números, éstos estaban divididos en dos columnas. En la primera estaban las frecuencias del analizador de espectros y en la otra columna las potencias (medida en el ancho de banda de resolución usado por el analizador de espectros).

Después se transformaban los caracteres numéricos a números propiamente, se guardaban en una matriz, se calculaba la potencia del canal y finalmente el campo eléctrico. Este programa sólo aplica para la campaña de UFMG ya que, para la campaña de Itatiaia los datos del espectro no se podían analizar con el programa de HHST.

En la Campaña de Itatiaia, los archivos de los espectros de las señales están en formato “`.spa`”, los cuales contienen todas las frecuencias del barrido realizado en la medición junto con sus potencias correspondientes.



El formato “.spa” se puede observar en Microsoft Excel, por ese motivo se creó un archivo llamado “CalculoPotenciasFM.xls” (formato de Excel) para calcular la Potencia de Canal con el mismo método utilizado en “potenciasFM.m”. En “Calculo PotenciasFM.xls” se deben copiar únicamente los valores de Potencia y de frecuencias que pertenezcan al ancho de banda de la señal. Los resultados que arroja son: la Potencia de Canal (en [W] y en dBm) y el Voltaje del Canal (en [V] y en dB μ V). Cabe mencionar que las dos herramientas se realizaron para obtener las Potencias de los puntos medidos en recepción fija.

En algunas mediciones para UFMG e Itatiaia, el nivel de Ruido era bastante alto, por lo que no fue posible medir la Potencia del Canal de DRM+, en esos casos esa Potencia se obtuvo de la Potencia del Canal de FM, considerando una diferencia de Potencia entre la Señal de FM y de DRM+ para UFMG de $\Delta P = 13.7 \text{ dB}$ y para Itatiaia de $\Delta P = 19.8 \text{ dB}$.

En la parte de potencias también se tuvo que trabajar y corregir muchos errores pues el programa requería de algunos comandos que no conocíamos y debíamos investigar cómo funcionaban y si éstos eran adecuados para el programa; esto sucedió principalmente en la parte de lectura de los archivos .txt pues sólo sabíamos cómo funcionaba “Procesa” y éste no leía archivos .txt así que trabajamos con distintos comandos hasta encontrar el que pudiera leer los datos y almacenarlos como nosotros requeríamos.

Un problema presentado en esta parte fue que todos los datos eran caracteres y debíamos de encontrar la manera de que el programa manejara los números como tales, que igualmente era algo que desconocíamos y debíamos investigar cuál sería la mejor opción. Esto pudo resolverse al concatenar los caracteres y transformarlos en números para después crear matrices donde pudiéramos almacenar la información de manera ordenada.

Para los valores de potencias, se pudo comparar los resultados utilizando otras herramientas para hacer el mismo cálculo.

6.2.3 *Desarrollo y Mejora de Herramientas de SW ya elaboradas*

Dos de nuestras compañeras trabajaron en la integración y adaptación del programa “SW DRM+ GE”, el cual crea archivos KML que en base a la longitud y latitud de los puntos de medición hace una representación gráfica de los mismos con su respectivo AQ.

Este mismo programa crea también gráficas en la interfaz gráfica de Matlab (figura 6.10), las cuales contienen el valor de SNR (gráfica en color verde), número de tramas de audio recibidas correctamente (gráfica en color azul) y la velocidad del móvil mientras se realizaba la medición (gráfica en color rojo).

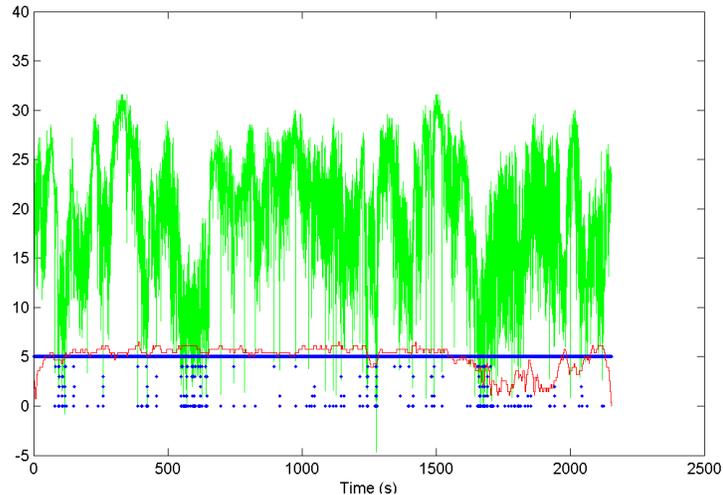


Figura 6.10. Gráfica del punto R4P3 a R4P4 en 4QAM obtenida de SW DRM+ GE, para Itatiaia.

Se requirió agregar el cálculo de Potencias en “SW DRM+ GE” para poder realizar gráficas del campo eléctrico junto con los parámetros que ya se calculaban. Esto se realizó únicamente para recepción en movimiento de la campaña de Itatiaia, ya que de esas mediciones se tenían archivos con extensión .MAT (formato de MATLAB) los cuales contenían información de los espectros realizados cada cierto tiempo que dependía del analizador de espectros.



Uno de los problemas presentados en este caso, fue que las potencias de los archivos .MAT sólo estaban acotadas pero no estaban relacionadas a su respectiva frecuencia.

Sin embargo, teníamos conocimiento de las frecuencias inicial y final (95 y 96 MHz, respectivamente) del barrido de frecuencias del analizador de espectros (figura 6.11).

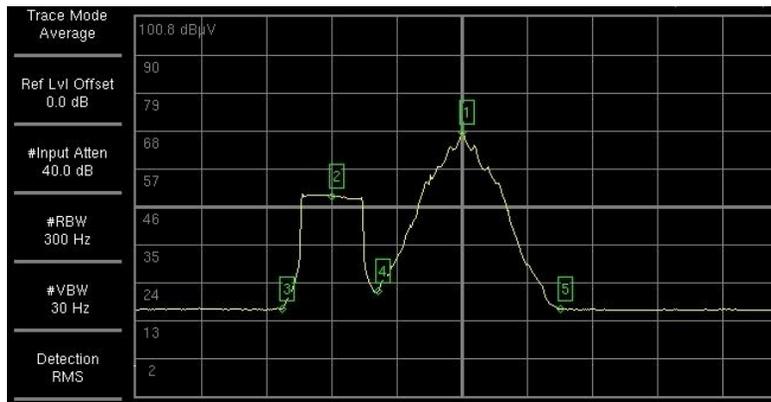


Figura 6.11. Espectro de la señal híbrida de un punto de la Campaña de Itatiaia.

Esto se resolvió dividiendo el ancho de banda (1 MHz) entre el número de puntos más la frecuencia inicial, resultando una frecuencia determinada en cada punto asociándolo a su respectiva potencia.

Otra problemática presentada para la obtención de potencias con el programa “SW DRM+ GE”, fue sincronizar las horas obtenidas por el Sistema GPS (obtenidas de los archivos .dump) con las horas guardadas en los archivos .MAT, esto con el fin de sincronizar los valores de las Potencias con los demás parámetros medidos.

Se crearon 4 funciones más, las cuales fueron agregadas al programa principal de “SW DRM+ GE”:



- ✓ Función “Transforma_hora_parse.m”: Modifica el formato de la hora del GPS obtenida de archivos .dump para poder compararlo con el formato contenido en los archivos .mat.
- ✓ Función “potdBm1.m”: Realiza el cálculo de la Potencia de Canal con el mismo método utilizado en las herramientas creadas en Microsoft Excel y en Matlab, como resultado se obtiene la Potencia en [W] y en dBm.
- ✓ Función “llamapotdBm.m”: Contiene los valores de las frecuencias utilizadas en “potdBm1.m” para el cálculo de las Potencias.
- ✓ Función “Comparahora.m”: Compara las horas de los archivos .dump con las horas de los archivos .mat. Los valores de Potencia obtenidos en “llamapotdBm.m” los asocia con todos los valores de los archivos .dump. Calcula el Campo Eléctrico a partir de la Potencia en dBm y del factor K en $\text{dB}(\text{m}^{-1})$.

El valor del Campo Eléctrico, obtenido de la función “Comparahora.m” se agregó a la función “graficas.m” (en color azul).

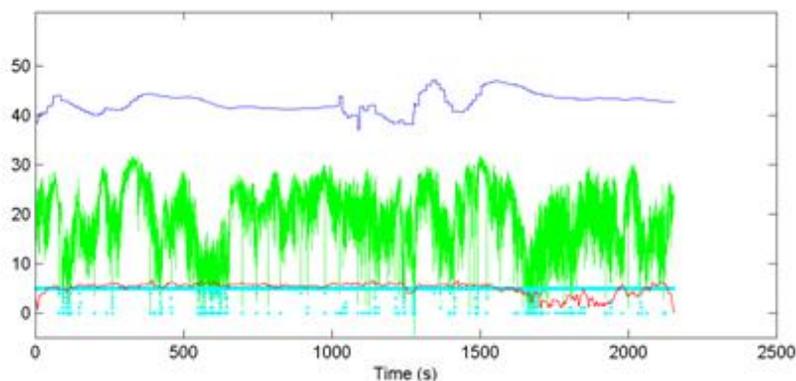


Figura 6.12. Gráfica con Campo Eléctrico del punto R4P3 a R4P4 en 4QAM obtenida de SW DRM+ GE, Itatiaia.



Para poder analizar el trayecto de las rutas radiales se juntaron los archivos de cada tramo de la ruta, esto es: P1TOP2, P2TOP3 y P3TOP4 en un mismo archivo .dump y en un archivo .mat. Los archivos .dump se juntaron utilizando un programa para editar archivos hexadecimales (llamado “ULTRAEDIT”). Los archivos .mat se juntaron con un programa creado en Matlab llamado “juntamat.m” en el cual se deben escribir el nombre de los archivos .mat que se quieren concatenar (contenidos en la misma carpeta). Se puede elegir el nombre del archivo a crear y éste se guardará en la misma carpeta de donde se encuentran los demás archivos.

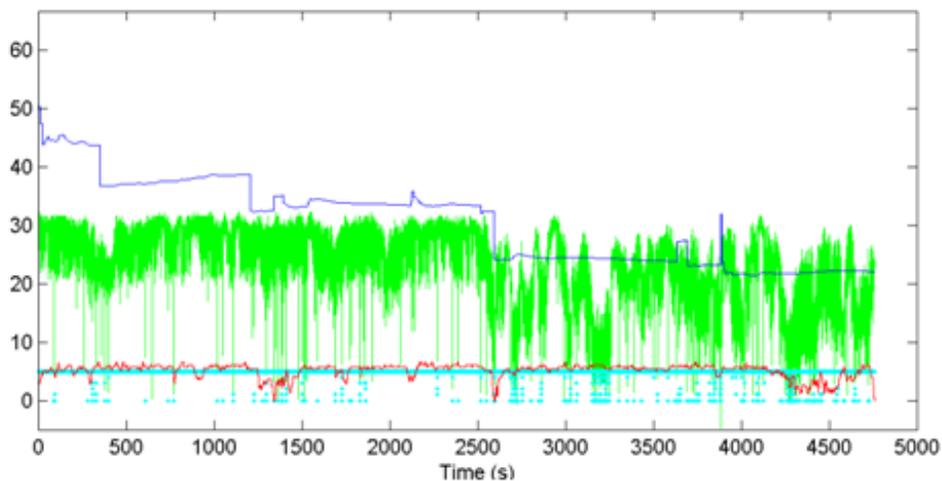


Figura 6.13. Gráfica de la Ruta R4 en modo 4QAM completa con Campo Eléctrico, Itatiaia.



6.3 Procesamiento de la Información

Una vez que se integraron, modificaron, crearon y desarrollaron las herramientas de Software, éstas se utilizaron para obtener los resultados de las 3 campañas de mediciones.

Se crearon 2 archivos .kml que contienen de forma organizada los resultados de todos los puntos de cada una de las campañas de medición tanto de recepción fija como en movimiento, incluyendo la ubicación de las radiodifusoras UFMG e Itatiaia.

Los archivos .txt creados del programa “Parse-Procesa”, los cuales contienen los valores para conocer los umbrales de recepción y la cobertura de la señal, se exportaron a Excel y se organizaron de tal forma que pudiéramos ubicar los puntos en recepción fija separados de los puntos en movimiento.

El primer nivel de organización es por tipo de modulación, ya que este es el parámetro elegible dentro del sistema de DRM+ que repercute directamente en la robustez de la señal y la tasa de transmisión y por tanto en la cobertura y en los umbrales de recepción.

También fue necesario separar por rutas para ver el comportamiento en las mismas, siendo de mayor importancia esta clasificación para el estudio en movimiento que para fijo.

En base a esos archivos .txt se crearon otros en Excel donde se agregaron las potencias de cada punto y el cálculo del Campo Eléctrico, ambos para mediciones en recepción fija. En esos mismos archivos se elaboraron tablas de valores para obtener las gráficas de Distancia del punto al Transmisor Vs Campo Eléctrico y Campo Eléctrico Vs SNR.

Archivo	Vo FM [dBuV]	Vo DRM [dBuV]	Antena	Modo	Audio Quality (%)	SNR Median (dB)	Campo E, DRM [dB(μV/m)]	Campo E, DRM [μV/m]	Distancia Tx(km)
---------	--------------	---------------	--------	------	-------------------	-----------------	-------------------------	---------------------	------------------

Tabla 6.1. Tabla elaborada en Excel de los valores obtenidos del procesamiento de la información



Para representar los puntos de medición en las gráficas, se consideraron en 3 colores diferentes, en los cuales se puede apreciar de forma más sencilla la calidad de audio de la señal (AQ):

- ✓ $AQ \geq 98\%$: Recepción Buena: COLOR VERDE
- ✓ $90\% \leq AQ < 98\%$: Recepción Regular: COLOR AMARILLO
- ✓ $AQ < 90\%$: Recepción Mala: COLOR ROJO

Esto se realizó tanto para las gráficas en Excel, como para los puntos contenidos en los archivos .kml. Además se decidió realizar una gráfica para cada modo, 4QAM y 16 QAM.

Las gráficas Distancia del punto al Transmisor Vs Campo Eléctrico, se realizaron con la finalidad de conocer la cobertura de la señal, esto es, hasta qué distancia se recibe la señal con una buena calidad.

Las gráficas Campo Eléctrico Vs SNR sirven para ubicar el umbral de recepción, el cual es el campo mínimo para recibir correctamente la señal y que depende del ruido, de la SNR y del Campo Eléctrico.

Al procesar los datos de la Campaña de Itatiaia observamos que la realización de las mediciones no coincidía con la planificación de las rutas. Al inicio del proyecto se planificaron 5 rutas radiales y 5 rutas circulares, y los datos que se enviaron desde Brasil fueron de 4 rutas radiales (R1, R2, R3 y R4) y 3 rutas circulares (C1, C2 y C3). Las rutas R1 y C3 tuvieron problemas con el sistema GPS y no se pudieron agregar en los archivos de Google Earth ni en las gráficas de Excel. Las rutas resultantes se observan en la Figura 6.14.



Figura 6.14. Ejemplos de datos obtenidos de la Campaña de Itatiaia

La distancia recorrida en cada una de las mediciones realizadas para UFMG e Itatiaia en Recepción en Movimiento se resume en las siguientes tablas:

Campaña UFMG		
Modo	Ruta	Distancia Recorrida [Km]
4 QAM	Radial 1	42.2
	Radial 2	38.2
	Radial 3	49.8
	Radial 4	26.4
	Circular 1	14.9
	Circular 2	36.1
	Circular 3	15.3
	Circular 4	9
16 QAM	Radial 1	42
	Radial 2	38.1
	Radial 3	49.9
	Radial 4	26.3
	Circular 1	14.9
	Circular 2	36.2
	Circular 3	15.3
	Circular 4	8.6

Tabla 6.2. Distancias Recorridas en la campaña de UFMG para Recepción en Movimiento.



Campaña ITATIAIA		
Modo	Ruta	Distancia Total Recorrida [Km]
4 QAM	Radial 2	55.7
	Radial 3	29.9
	Radial 4	69.9
	Circular 1	14.2
	Circular 2	8.5
16 QAM	Radial 1	69.9
	Radial 2	55.7
	Radial 3	29.9
	Radial 4	70.9
	Circular 1	13.9
	Circular 2	8.5

Tabla 6.3. Distancias Recorridas en la campaña de ITATIAIA para Recepción en Movimiento.

6.4. Análisis de Resultados

6.4.1. Campaña UFMG

En las pruebas para la campaña de UFMG se realizaron mediciones en 2 frecuencias diferentes, en 104.3 MHz y en 104.7 MHz, ya que existía una interferencia proveniente de otra radiodifusora en la frecuencia de 104.3 MHz, la cual fue seleccionada en la planificación de mediciones.

Para decidir qué datos se iban a utilizar en el análisis de resultados, se compararon los espectros de las señales y los resultados obtenidos en recepción fija de las gráficas y de los archivos .kml en las 2 frecuencias.

En algunos de los resultados se observó una mejor calidad de audio recibida en la señal de DRM+ en las mediciones en 104.7 MHz; en los demás resultados no hay alguna diferencia en base al AQ entre 104.3 MHz y 104.7 MHz. Por ello, se consideraron las mediciones realizadas en la frecuencia 104.7 MHz para la obtención del área de cobertura y umbrales de recepción, también fueron considerados aquellos puntos medidos solamente en la frecuencia 104.3 MHz.

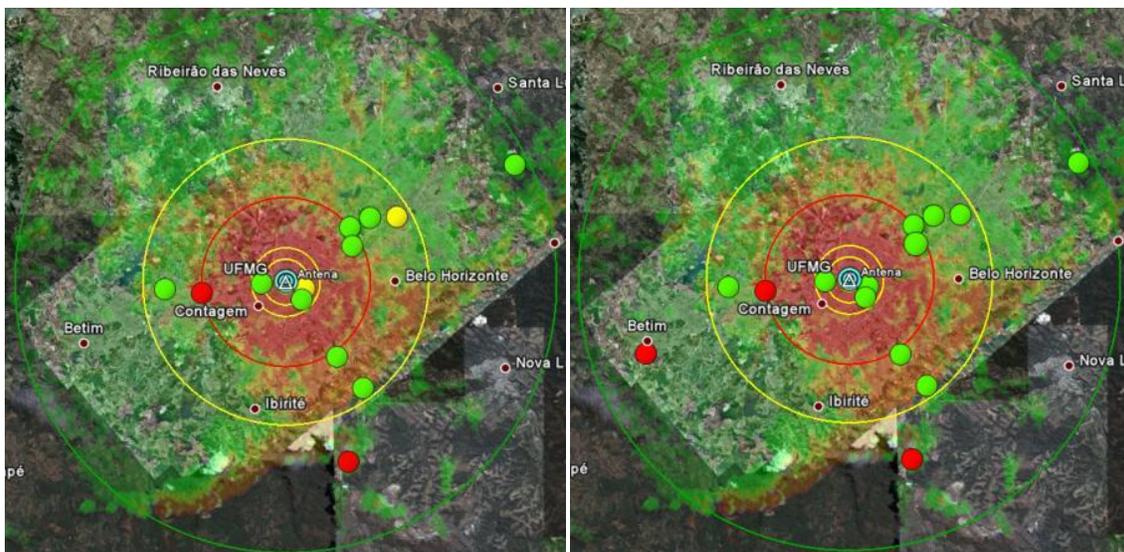


Figura 6.15. Puntos medidos en 104.3 MHz (izquierda) y en 104.7 MHz (derecha), para 16 QAM.



Modo	Frecuencia	Total de Puntos	Buena Recepción	Recepción Mala o Regular
4QAM	104.3MHz	13	10	3
	104.7MHz	13	10	3
16QAM	104.3MHz	14	8	6
	104.7MHz	14	11	3

Tabla 6.4. Resultados de las frecuencias 104.3 MHz and 104.7 MHz en los mismos puntos de medición

Analizando los resultados obtenidos de las gráficas elaboradas en Excel, nos percatamos que en la Ruta R4 de UFMG en el modo 4QAM ocurrió algo desconocido durante las mediciones, 3 de los 4 puntos medidos tienen una recepción regular con $90\% < AQ < 98\%$, inclusive los datos en modo 16QAM para esa ruta son mejores que los del modo 4QAM. Esta situación es anómala, puesto que no es habitual tener tantas medidas con recepción regular. Este hecho se asocia a la existencia de interferencias. Por ello, la ruta R4 de 4QAM no se contempló para el análisis en recepción fija. En cambio sí se tomaron en cuenta para el modo 16QAM ya que esos datos sí tienen una buena recepción.

Para determinar el área de cobertura en recepción fija observamos la gráfica Distancia al Transmisor vs Campo Eléctrico para el modo 4QAM. La cobertura se puede delimitar a una distancia de 12 km del Transmisor. En el modo 16QAM a 12 km la recepción no es tan buena a comparación de la obtenida en 4QAM, por lo que se limitó la distancia a 9 km.

Debido a que no se tienen mediciones en el rango de 12 Km a 16 Km en modo 4QAM, no se sabe con precisión la distancia donde aún se tiene una buena recepción. Por ello, el área de cobertura podría ser mayor a 12 Km.

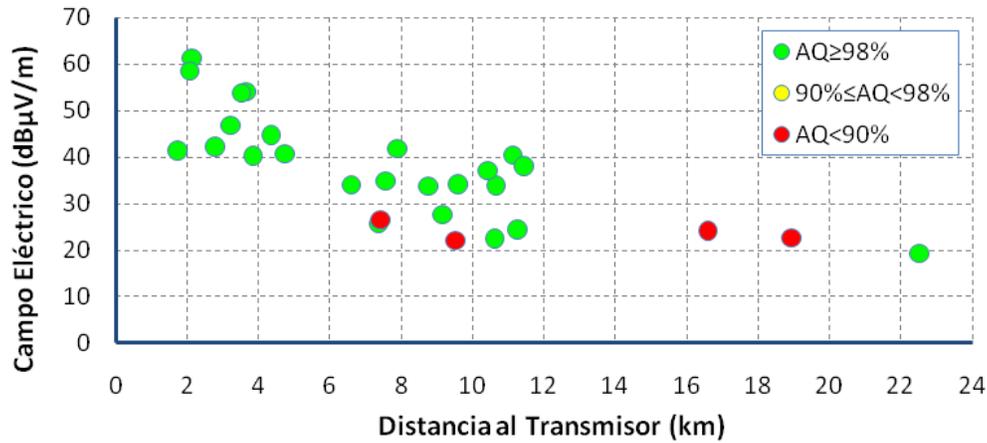


Figura 6.16. Área de cobertura determinada por el Campo Eléctrico y la distancia en modo 4QAM, UFMG.

Para determinar el umbral de recepción, el cual es el campo mínimo requerido para recibir la señal correctamente, nos basamos en las gráficas SNR Vs Campo Eléctrico.

En la figura 6.17, que corresponde al modo 4QAM, el Campo mínimo es 26 dB [µV/m] con un valor mínimo de SNR de 8 dB aproximadamente.

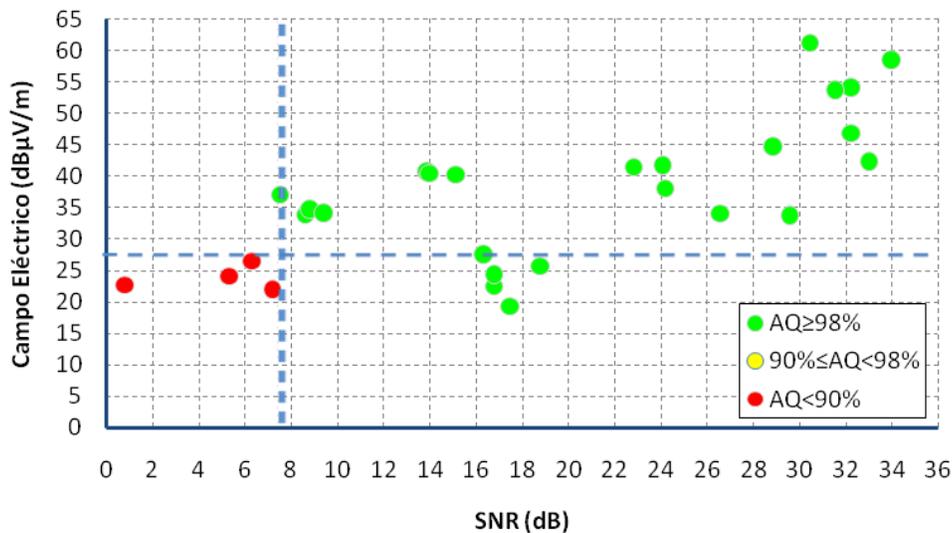


Figura 6.17. Recepción de Campo Eléctrico y de SNR en modo 4QAM, UFMG.



Para el modo 16QAM, se pudo determinar un Campo mínimo de 36 dB [$\mu\text{V}/\text{m}$] y un valor mínimo de SNR de 14 dB.

Para recepción en movimiento en modo 4QAM, la zona de cobertura en las rutas R2 y R4 se encuentra a una distancia aproximada de 12 km, para las rutas R1 y R3 la distancia se reduce a 7 km. Lo cual concuerda con las distancias de cobertura obtenidas en recepción fija. Esa distancia se obtuvo de la relación:

$$\text{distancia [km]} = \text{tiempo[s]} * v \left[\frac{\text{km}}{\text{hr}} \right] * \left(\frac{1/\text{hr}}{3600 \text{ s}} \right) \quad (6.10)$$

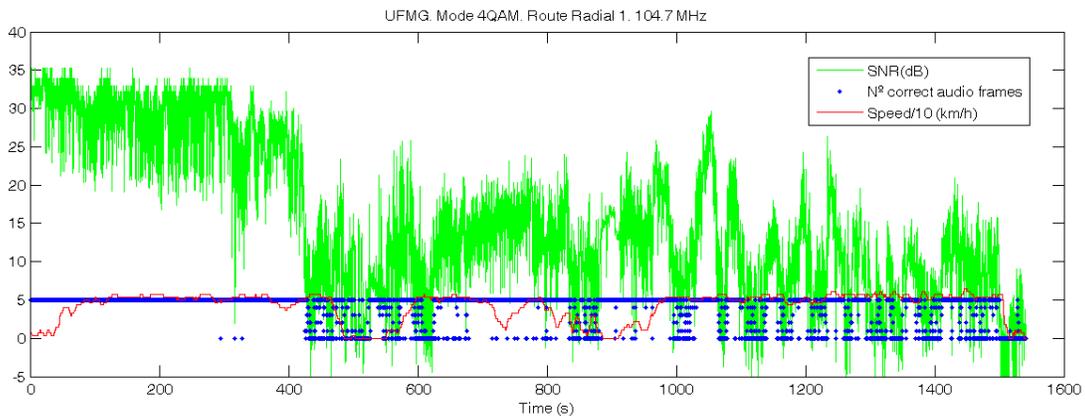


Figura 6.18. Recepción en Movimiento en la ruta radial R1 completa en modo 4QAM, UFMG.

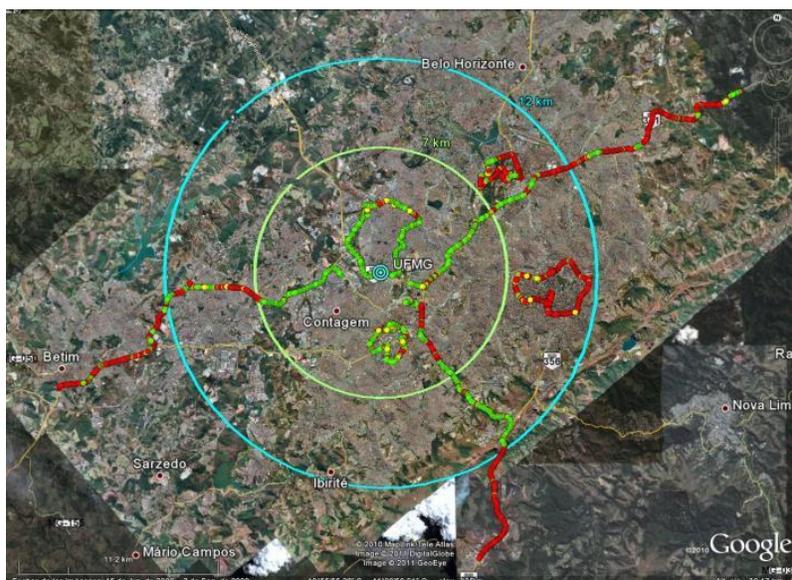


Figura 6.19. Recepción en movimiento en modo 4QAM, UFMG.

La distancia donde aún se tiene una buena recepción para el modo 16QAM es un poco menor a la obtenida en el modo 4QAM, esa distancia se limita a 7 km, ya que en 12 km existen varias zonas donde no se recibe bien. Esto sucede debido a que la modulación 16QAM es menos robusta que 4QAM, aunque más rápida.

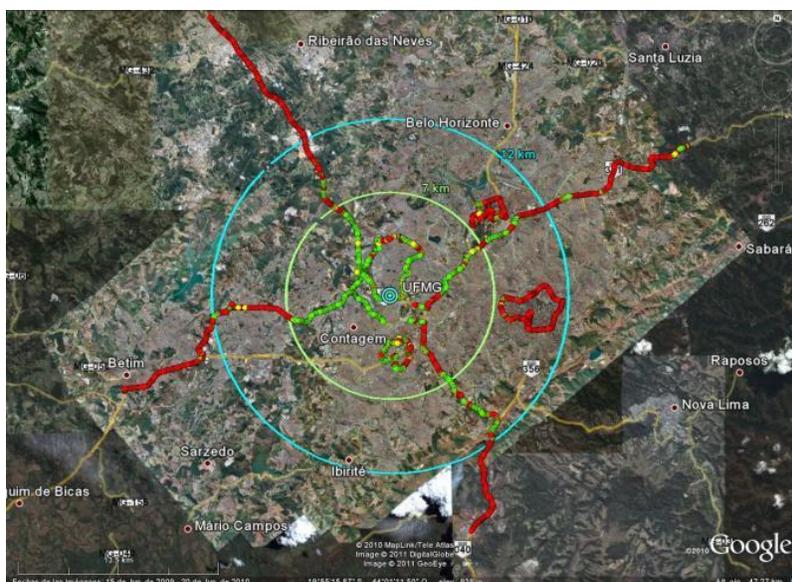


Figura 6.20. Recepción en movimiento en modo 16QAM, UFMG.

6.4.2. Campaña Itatiaia

Las pruebas realizadas para Itatiaia no fueron las mismas que se planearon desde el inicio del proyecto, los datos que se tienen de la campaña son de 3 rutas radiales R2, R3 y R4, y 2 rutas circulares C1 y C2; En la ruta C3 se tuvieron algunos problemas con el sistema GSP como se mencionó anteriormente. Para el modo 4QAM no se tienen datos de la ruta R1, por lo que ésta será contemplada sólo en los resultados para el modo 16QAM.



Figura 6.21. Resultados obtenidos de las pruebas de Itatiaia, en modo 4QAM.

Al Sureste de la ubicación del transmisor existen algunas montañas y cerros, por lo que todos los puntos medidos en esa área tuvieron una mala recepción. Si se consideran esos puntos dentro del análisis limitan el área de cobertura, por ello la ruta R3 no está contemplada en los resultados. Además, el área de interés por cubrir es la zona Noroeste y Noreste (Zona Urbana).

A una distancia de 15 km. se tiene una buena recepción fija para los modos 4QAM y 16QAM hacia el Noroeste y Noreste. Inclusive existe un punto a 50 km. del transmisor el cual tiene buena recepción en ambos modos.



Figura 6.22. Área de Cobertura a 15 km. del Transmisor, Itatiaia.

En la siguiente gráfica también se distingue la distancia hasta donde se tiene buena recepción:

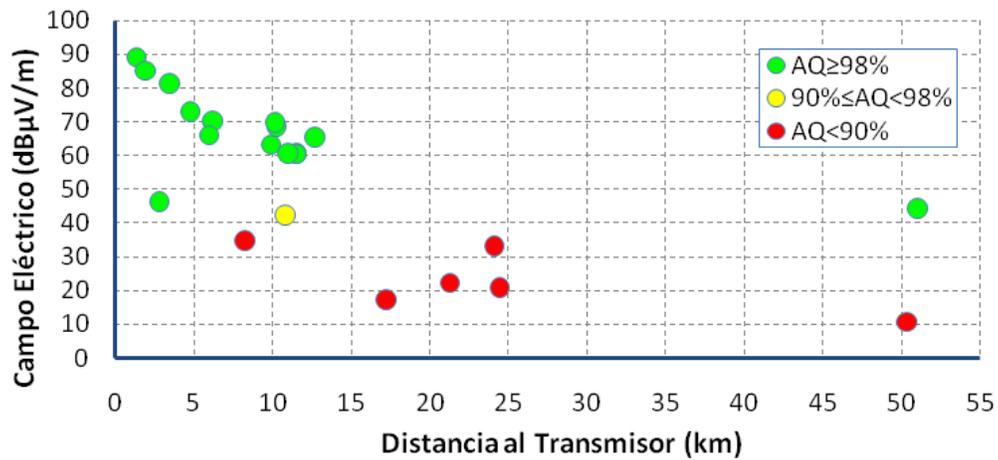


Figura 6.23. Área de cobertura determinada por el Campo Eléctrico y la distancia en modo 4QAM, Itatiaia.

El cálculo de los umbrales de recepción se realizó de la misma forma que en el análisis para UFMG, esto es, basándonos en las gráficas de Campo Eléctrico y SNR.

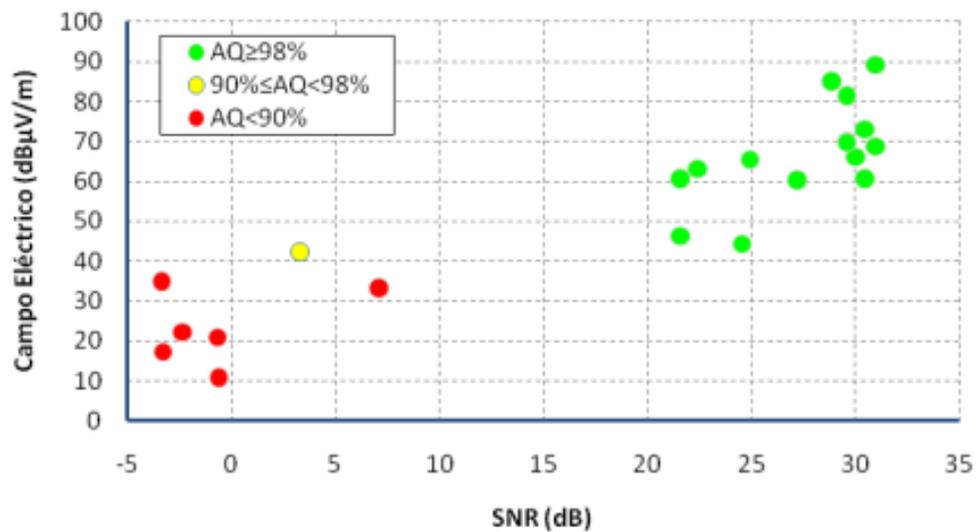


Figura 6.24. Recepción de Campo Eléctrico y de SNR en modo 4QAM, Itatiaia.

En la figura 6.23 se puede observar que el campo mínimo necesario para recibir la señal correctamente es de aproximadamente 40 dB [$\mu\text{V}/\text{m}$]. Sin embargo, no se puede definir un valor aproximado de SNR ya que no se tienen suficientes mediciones que se encuentren entre 0 y 20 dB. Lo mismo sucede en el modo 16QAM, donde el campo mínimo se encuentra en 35 dB [$\mu\text{V}/\text{m}$].

Para recepción en movimiento en modo 4QAM, nos basamos únicamente en la ruta R4, ya que R2 y R3 son las rutas que se encuentran al Sur, además para este modo no contábamos con los datos de la ruta R1.

La distancia a la que se tiene buena recepción, observando la gráfica de la ruta completa de R4, es a los 40 km aproximadamente.

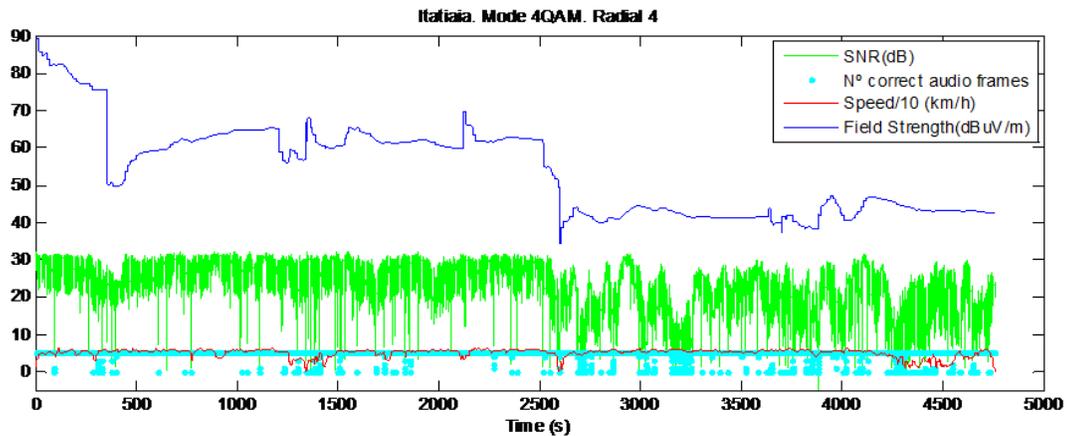


Figura 6.25. Recepción en Movimiento de la ruta radial R4 completa en modo 4QAM, Itatiaia.

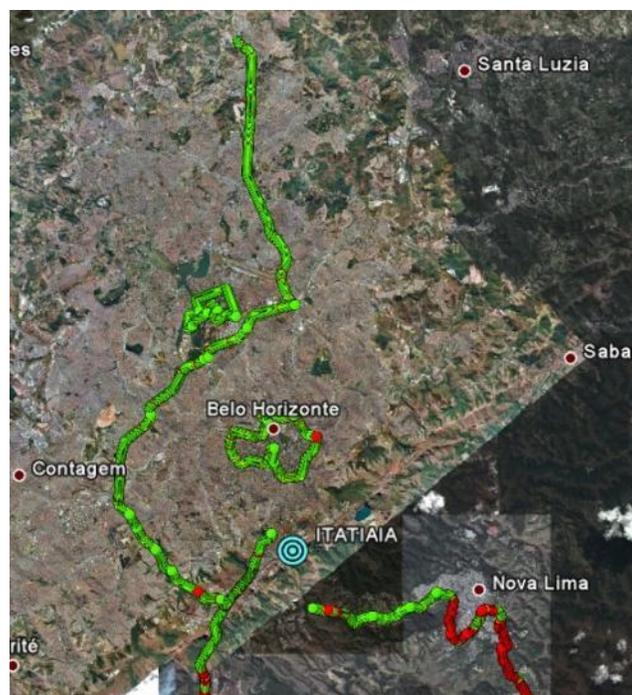


Figura 6.26. Recepción en Movimiento en modo 4QAM, Itatiaia.

En el modo 16QAM, se puede analizar la ruta R1 a través de la gráfica y en Google Earth, en ellos dos se observa una buena recepción a los 30 km aproximadamente, y en la ruta R4 se tiene una distancia de 40 km, misma distancia obtenida en modo 4QAM.

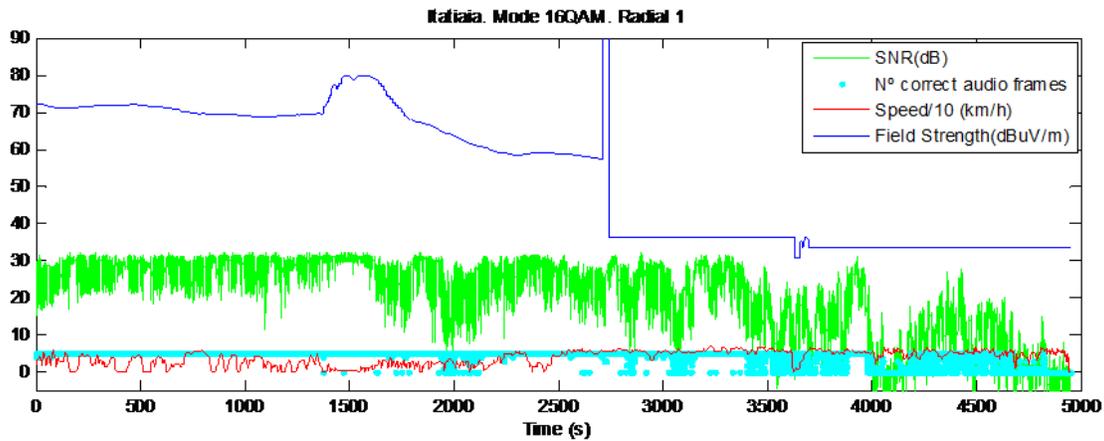


Figura 6.27. Recepción en Movimiento de la ruta completa R1 en modo 16QAM, Itatiaia.

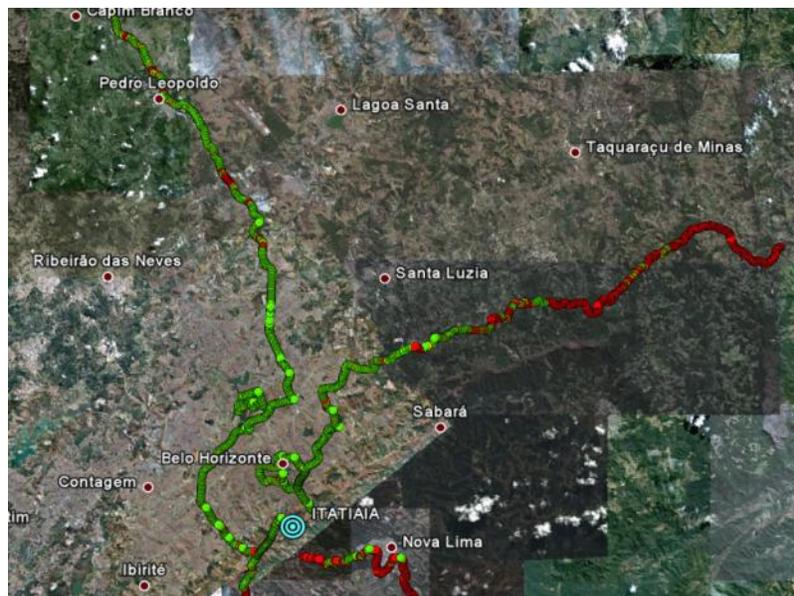


Figura 6.28. Recepción en Movimiento en modo 16QAM, Itatiaia.

Cabe mencionar que las distancias obtenidas en UFMG e Itatiaia para recepción en movimiento, donde se tiene una buena calidad de recepción de la señal también se analizaron con las distancias que el Programa “Parse-Procesa” calcula con el AQ acumulado durante el trayecto de la ruta completa.

6.4.3. Campaña Tv Cultura

Con Radio Mobile comprobamos que el área de cobertura de las pruebas realizadas en la campaña de Tv Cultura para la transmisión digital fuera coherente con la estimación obtenida en este SW a partir de los datos del transmisor del sistema DRM+.

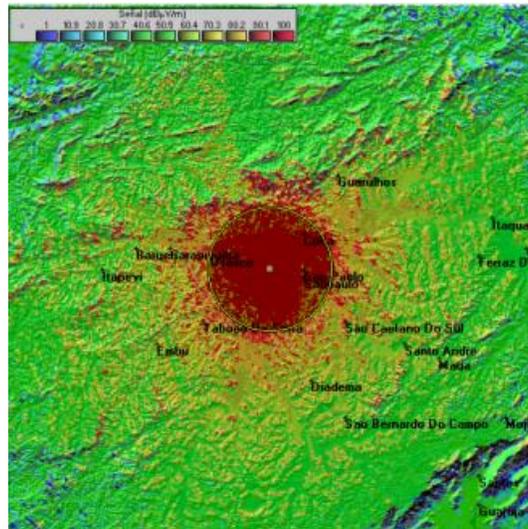


Figura 6.29. Cálculo del área de cobertura para Tv Cultura.

Esta actividad se realizó debido a que la estimación de cobertura para esta campaña era de 50 km aproximadamente, distancia que no obtuvimos después de procesar los datos y analizarlos.

El área de cobertura medido alrededor del transmisor fue de 3 km, por ello no calculamos el Campo Eléctrico para ninguno de los 2 tipos de recepción. Esta diferencia tan notoria entre la predicha y la medida solo puede ser debida a problemas durante las mediciones, posiblemente por problemas en el transmisor o bien por problemas en el receptor.

Por ello, las medidas fueron consideradas como no válidas, es por eso que esta campaña no se incluyó en los informes realizados para la UIT ni para ANATEL de Brasil.

Tampoco se elaboraron gráficas de Campo Eléctrico vs Distancia al Transmisor y Campo Eléctrico vs SNR.



6.5. *Presentación de resultados*

La presentación de resultados fue la parte final y la más relevante de este proyecto. Después de analizar los resultados obtenidos del procesamiento de la información de cada una de las campañas, se escribieron los informes para la UIT y para ANATEL de Brasil.

La UIT es la organización más importante de las Naciones Unidas en lo que concierne a las tecnologías de la información y la comunicación. La UIT se divide en 3 sectores fundamentales: Radiocomunicaciones, Normalización y Desarrollo [22].



La misión de ANATEL de Brasil es promover el desarrollo de las telecomunicaciones del país. Creada en

1997, es una agencia reguladora la cual tiene independencia administrativa y financiera y no está subordinada a ningún órgano del gobierno. ANATEL de Brasil tiene poderes de concesión, reglamentación y fiscalización [23].

Ambos informes fueron redactados en inglés, además el documento que se entregaría a ANATEL de Brasil será traducido al portugués. Estos reportes contienen toda la información acerca de las campañas hechas. Entre la información relevante que contienen se encuentra cómo se montaron las antenas, la ubicación y características del transmisor, receptor y señal, las rutas y los resultados obtenidos.

En esos informes, escritos por el Dr. José María Matías, basándose en toda la información procesada y analizada, también se agregaron tablas para determinar de una manera más concisa la cobertura obtenida en recepción fija de cada una de las campañas. Esas tablas contienen los porcentajes de los puntos con buena, regular y mala recepción, a cierta distancia del transmisor.



En el apéndice de los informes se describe primeramente el sistema DRM con su proceso de estandarización, características generales y técnicas y algunos antecedentes de pruebas hechas con anterioridad en otros países. Después, se describe a detalle las rutas de medición de las campañas, seguido de un resumen de resultados y algunas características de los puntos de medición.

La cobertura se definió por medio de los archivos de Google Earth y de tablas con porcentaje. Los umbrales de recepción se obtuvieron de las gráficas de Campo Eléctrico y SNR. Las gráficas de Distancias al transmisor y Campo Eléctrico no se utilizaron en los informes.

Modo 4QAM	Total		En un radio de 7 km		En un radio de 12 km	
	Puntos	Porcentaje	Puntos	Porcentaje	Puntos	Porcentaje
Total	28	100%	11	100%	25	100%
$AQ \geq 98\%$	24	85.7%	11	100%	23	92%
$90\% \leq AQ < 98\%$	0	0%	0	0%	0	0%
$AQ < 90\%$	4	14.3%	0	0%	2	8%

Tabla 6.5. Ejemplo de las tablas agregadas a los informes con porcentaje para la campaña de UFMG.

Modo 16QAM	Total		En un radio de 15 km (Zona Urbana)	
	Puntos	Porcentaje	Puntos	Porcentaje
Total	27	100%	16	100%
$AQ \geq 98\%$	18	67%	14	87.5%
$90\% \leq AQ < 98\%$	2	7%	2	12.5%
$AQ < 90\%$	7	26%	0	0%

Tabla 6.6. Ejemplo de las tablas agregadas a los informes con porcentaje para la campaña de Itatiaia.

Para definir el área de cobertura en Recepción en Movimiento, se utilizaron las gráficas de las rutas radiales completas, en ellas no se agregó el parámetro del Campo Eléctrico debido a que en las gráficas se pueden apreciar saltos de hasta 10 dB entre un punto y otro, lo cual no es normal.



La diferencia entre los reportes para el gobierno brasileño y los enviados a la UIT es la extensión y profundidad. Los enviados a Brasil son más extensos y específicos en las características técnicas y resultados y los enviados a la UIT tienen un modelo ejecutivo enfocándose en los resultados e información resumida sobre los lugares de las pruebas y las características de las emisiones.

A la fecha de entrega de esta tesis, los documentos estaban finalizados pero por motivos de agenda del Ministerio de Comunicaciones de Brasil y del Consorcio DRM no habían sido entregados oficialmente.