

Automação dos Diagramas de Radiação dos Cinemómetros-Radar no IPQ

C. Pires, O. Pellegrino

Laboratório Central de Metrologia, Instituto Português da Qualidade
Rua António Gião 2, 2829 – 513 Caparica, Portugal; e-mail: carlosp@mail.ipq.pt

Resumo

Um dos trabalhos realizados no Instituto Português da Qualidade (IPQ) é o controlo metrológico dos cinemómetros de efeito Doppler (cinemómetros-radar), usados em Portugal. Da detecção do sinal Doppler reflectido num veículo em movimento, deduz-se a velocidade. A frequência, na gama das microondas e a distribuição geométrica da radiação da antena são os parâmetros controlados. Mais precisamente, a aprovação de modelo dos cinemómetros, baseado na OIML R 91, publica oficialmente as especificações técnicas que o Laboratório Central de Metrologia tem de verificar. Uma parte importante dos testes laboratoriais consiste no estudo das características espectrais da emissão da antena, chamado de diagrama de radiação. Desde 2006, pela primeira vez no IPQ, são adquiridos os diagramas de radiação de antena automáticos. A aquisição dos dados experimentais e a rotação da antena são comandadas por computador com um programa realizado em LabVIEW, da National Instruments. Este comunicação descreve algumas aplicações, resultados a validação deste programa. A validação foi efectuada comparando os resultados com os obtidos na aquisição de um diagrama de radiação adquirido não automaticamente. Balanços de incerteza foram continuamente avaliados para encontrar as condições dos parâmetros utilizados para a criação do programa.

Introdução

Os ensaios para as diferentes operações do Controlo Metrológico dos cinemómetros (Aprovação de Modelo, Primeira Verificação e Verificações Periódicas) são efectuados no Laboratório de Fotometria, Radiometria e Radiofrequências (LFR), do Laboratório Central de Metrologia (LCM), no Instituto Português da Qualidade (IPQ) [1].

Actualmente, os três quartos dos cinemómetros utilizados para a fiscalização das velocidades nas estradas portuguesas

pela Polícia de Segurança Pública e pela Guarda Nacional Republicana são cinemómetros a efeito Doppler, denominados de cinemómetros-radares. As antenas dos cinemómetros-radar emitem na gama das micro-ondas e a mudança da frequência do sinal emitido após a reflexão sobre o alvo em movimento relativo permite deduzir a sua velocidade. Esta mudança é conhecida por *desvio Doppler*.

Mais precisamente, a mudança do valor da frequência (f_D) da radiação (de comprimento de onda λ) emitida e reflectida sobre o objecto em movimento à velocidade (v) é dada através da relação: $f_D = 2v \cos \alpha / \lambda$ (onde α é o ângulo entre a direcção de propagação da radiação e a direcção da velocidade \vec{v} do objecto-alvo). Além disso, a antena deve garantir requisitos mínimos de emissão da radiação como a existência dum pico principal, com resoluções angulares e em potência suficiente como recomendado pela publicação OIML R 91 [2]. Assim, a Aprovação do Modelo enumera as especificações necessárias ao funcionamento do cinemómetro-radar que as operações sucessivas do Controlo Metrológico deverão verificar. Os ensaios de Laboratório dessas operações consistem, entre outros, na aquisição dum diagrama da potência emitida pela antena em função da sua orientação a fim de deduzir os valores dos parâmetros mencionados na Aprovação de Modelo [3].

Do diagrama de radiação da antena, deduz-se a orientação do pico principal, a sua Largura a Meia Altura (LMA) e à atenuação do pico principal. Mais precisamente, a LMA deve ser inferior a 7 ° e a atenuação superior a 15 dB. A verificação em Laboratório consiste também em controlar o valor da frequência de emissão da antena (24,1 GHz ou 34,3 GHz, dependendo do equipamento).

Um eixo de referência da emissão da radiação é definido opticamente e inclui o centro do sensor do analisador de potência e de frequência do sinal emitido pela Antena Em Ensaio (AEE), o eixo de simetria da AEE e o plano de simetria da

mesa rotativa passando pelo seu diâmetro. Antes de cada ensaio, controla-se que a distância entre a extremidade da AEE e o centro do sensor do analisador de sinal seja $3,5 \text{ m} \pm 0,01 \text{ m}$. O diagrama de radiação é iniciado após estabilização dos equipamentos de análise e da AEE.

O diagrama de radiação realizado manualmente consiste em registar os valores de potência do sinal emitido para cada valor do ângulo de rotação da AEE, num varrimento total de 50° .

Apresenta-se na Figura 1, os valores finais da potência em função dos valores da posição angular da antena. Esta figura apresenta também, os pontos característicos para o resultado do ensaio de laboratório do Controlo Metrológico: o pico principal (1), as posições da LMA (2 e 4) e os picos secundários (3 e 5). Desta figura conclui-se a conformidade dos valores desses parâmetros. Com efeito, a LMA vale 6° e a atenuação do pico principal vale 17 dB.

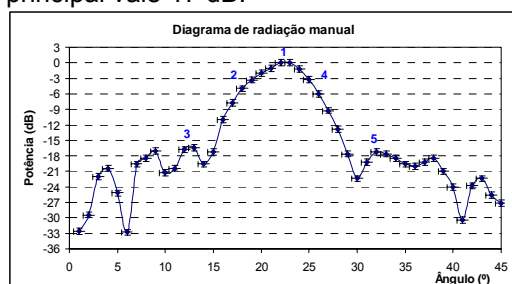


Figura 1: Diagrama de radiação manual.

No entanto, a obtenção e análise destes resultados para o ensaio de Laboratório do Controlo Metrológico são demoradas e dependentes do operador. Devido à grande quantidade de equipamentos submetidos anualmente ao Controlo Metrológico, de facto efectua-se a medição dos pontos característicos apresentados na Figura 1.

O objectivo deste trabalho é automatizar a aquisição dos diagramas de radiação de antena de cinemómetro-radar. Com efeito, tal processo de aquisição permitiria limitar a influência do operador na recolha dos dados e aumentar a sua fiabilidade. Um programa escrito no ambiente LabVIEW oferece bastante flexibilidade de construção e adaptação aos meios instrumentais disponíveis. Foi, portanto, desenvolvido um programa final para remotamente ler os instrumentos de medição, gravar os resultados obtidos, controlar todos os equipamentos utilizados e efectuar a sua validação. Este programa foi também aplicado ao estudo de antenas de diferentes cinemómetros-radar e ao

cálculo das incertezas associadas ao diagrama de radiação de antena.

Meios Utilizados

Para a recolha dos dados da potência e da frequência dos sinais emitidos utiliza-se um analisador espectral 2792 da Tektronix, com incertezas respectivas de 0,58 dB e 600 kHz. A antena é rodada por meio de uma mesa rotativa Controllable Turntable Type 5960 da Bruel & Kjaer, com uma incerteza $0,3^\circ$. Para a utilização confortável do LabVIEW, versão 8.0, um computador de 886 MHz com 256 MB de memória RAM, no mínimo é necessária e uma placa GPIB foi instalada no computador.

Resultados e Discussão

O diagrama de antena automático consiste no controlo e no comando de muitas das funções do operador por um programa de aquisição. Este programa foi desenvolvido na plataforma LabVIEW e foi designado por “Cinemómetro-radar”. A Figura 2 apresenta a interface do programa com o operador.

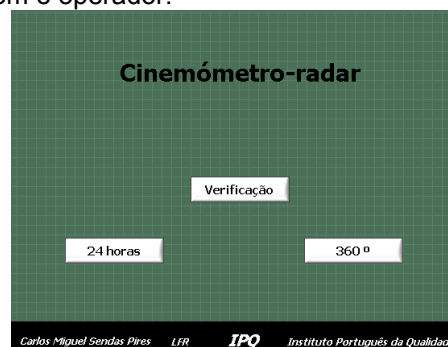


Figura 2: Janela principal do programa.

A parte “Verificação”, em Figura 3, apresenta a janela de interface onde são inseridos os dados administrativos do cinemómetro-radar em ensaio. No espaço delimitado pelo quadrado vão aparecendo locais para inserir dados relativos ao cinemómetro, consoante o tipo de cinemómetro.



Figura 3: Janela dos dados administrativos.

Após o preenchimento destes dados o programa procede à aquisição de um diagrama de radiação. No fim da aquisição dos dados obtidos com o programa, pode-se observar o diagrama de radiação da antena apresentado na Figura 3, em traços normais, em comparação com o diagrama de radiação manual, em traços claros.

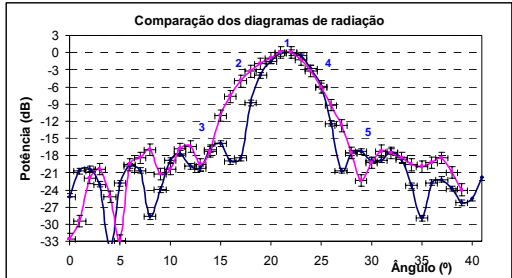


Figura 4: Diagrama de radiação automático.

Se consideramos os valores dos parâmetros característicos deduzidos das leituras respectivas de cada diagrama de radiação, como resumidos na Tabela 1, observa-se que a atenuação é igual para ambos os diagramas e dentro dos erros máximos admissíveis e que a LMA do diagrama manual é maior num grau em relação ao diagrama automático, embora dentro dos erros máximos admissíveis.

	Atenuação / dB	Atenuação mín. Admis / dB	LMA / °	LMA max. admis. / °
Manual	17,0±1,4	15	6±0,4	7
Autom.	17,0±0,5*	15	5±0,4	7

Tabela 1 Valores dos parâmetros característicos dos diagramas de radiação manual e automático;

Portanto, pode-se concluir que os resultados obtidos com os dois procedimentos são comparáveis como se pode depreender pela observação dos andamentos semelhantes dos diagramas de radiação.

A parte “360°” do programa, cuja janela de interface está apresentada na Figura 5, realiza a aquisição de um diagrama de radiação com um varrimento angular de 360 °.



Figura 5: Janela do programa “360°”.

Nesta parte do programa, o operador insere o número de varrimentos pretendidos. A janela informa o operador sobre a evolução da operação. Os valores são gravados em ficheiros Excel e podem ser apresentados num gráfico como o da Figura 4.

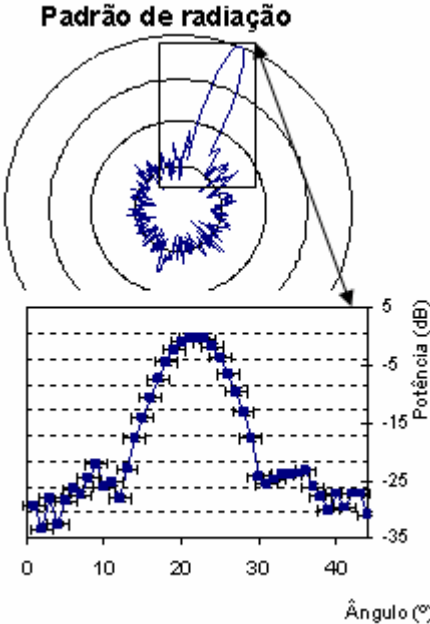


Figura 6: Padrão de radiação total com zoom no pico principal.

Este diagrama de radiação total evidencia apenas um pico principal, de largura inferior a 7 °, numa direcção de 22 °, em conformidade com as especificações da Aprovação de Modelo. Esta observação também foi efectuada com antenas de 4 outros cinemómetros-radar, o que justifica a obtenção dos diagramas de radiação numa janela angular de largura de 40 °.

A parte “24 horas” do programa, cuja janela de interface está apresentada na Figura 7 permite obter diagramas de radiação espaçados de alguns minutos nas primeiras 3 horas e separados de uma hora até perfazer 24 horas. Este programa permite também medir os valores de frequência da radiação da antena.

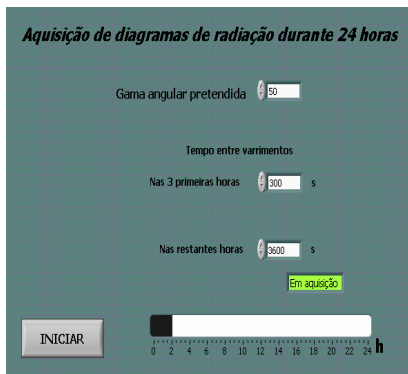


Figura 7: Janela do programa “24 horas”.

Pode-se variar os intervalos de tempo entre varrimentos e a respectiva gama angular. A janela informa sobre o progresso da operação. Nas Figuras 8 e 9 apresentam-se as evoluções dos valores da frequência, da LMA e da atenuação, ao longo de 24 horas. No gráfico da frequência, Figura 8, a linha carregada representa o valor teórico da frequência e o eixo dos y apresenta o intervalo permitido para as frequências: $(34,3 \pm 0,1)$ GHz. Nos gráficos da LMA e da atenuação, Figura 9, a linha tracejada representa o valor máximo permitido para a LMA (7°) e a linha tracejada com pontos, o valor mínimo da atenuação (15°).

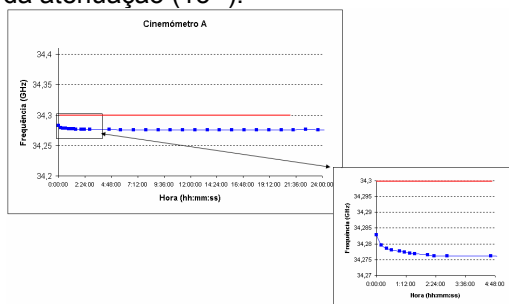


Figura 8: Variação da frequência, ao longo de 24 horas.

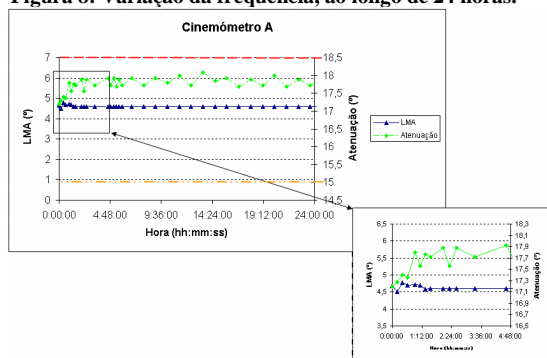


Figura 9: Variação da LMA e da atenuação dos picos secundários, ao longo de 24 horas.

Observa-se, que ao fim das duas primeiras, o valor da frequência está estabilizado, a LMA, apresenta alguma variação inicial, enquanto que a atenuação, apesar de apresentar sempre alguma variação, ao fim de duas horas de estabilização permanece estável. Também

se observa que tanto a LMA como a atenuação nunca se aproximam dos valores limites. Pode-se afirmar que as duas horas de estabilização são suficientes e necessárias à recolha de valores para o C.M. dos cinemómetro-radar.

Na abordagem do “Guia para a Expressão da Incerteza da Medição” (GUM) [4], existem dois métodos para calcular as incertezas das medições.

O primeiro (método A) é baseado na aplicação de métodos estatísticos e uma adaptação do programa permite efectuar este cálculo. O segundo método (método B) baseia-se sobre a experiência adquirida do sistema estudado

A partir da recolha de 8 diagramas de radiação, nas posições angulares correspondendo aos níveis do ruído (7° e 56°), aos picos secundários (21° e 45°), ao pico principal (31°) e ao valor quando a potência cai para metade do valor máximo (28° e 34°).

As adaptações do programa consistem em calcular os valores médios

$$\bar{y} = \frac{1}{n_i} \sum_{k=1}^{n_i} y_{ik} \quad \text{e} \quad \text{desvio padrão}$$

$$\hat{s}_i = \sqrt{\frac{1}{n_i - 1} \sum_{k=1}^{n_i} (y_{ik} - \bar{y}_i)^2} \quad \text{da grandeza}$$

medida, y_{ik} , e $n_i = 9$ é a quantidade de medições em cada valor angular. Os cálculos são efectuados pelo LabVIEW.

A partir dos valores médios e dos desvios padrão, a incerteza da repetibilidade dos resultados é estimada

$$\text{pela relação } s_r = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^p s_i^2}{p}}, \quad \text{em que } p = 8$$

é o número de recolhas.

Âng. ($^\circ$)	S_r da P (dB)	S_r da f (kHz)
7	0,38	240
21	0,05	
28	0,17	
31	0,17	
34	0,19	
45	0,49	
56	0,28	

Tabela 2: Valores S_r da potência e da frequência.

Sabendo que os valores de incerteza obtidos pelo método B são de 0,58 dB e 605 kHz, para a potência e a frequência, respectivamente, podemos

constatar que as mesmas ordens de grandeza são obtidas.

Mais podemos confirmar que essas estimativas dão valores de dispersão inferiores com o diagrama automático do que com o manual. Conseguiu-se um factor 0,5 para a dispersão dos valores de potência e um factor 0,4 para os de frequência.

Este resultado, que ainda não tinha sido atingindo com o diagrama de radiação manual, permite dar as seguintes estimativas para as incertezas associadas à medição de potência e de frequência:

- A incerteza expandida para a potência é calculada através da relação:

$s_p = \sqrt{4u_1^2 + 0,58^2}$, em que u_1 é o desvio padrão dado pelo programa, o segundo valor na raiz representa a incerteza do tipo B do equipamento de medição.

- Para a frequência temos:

$s_f = \sqrt{4u_1^2 + 600^2}$, em que u_1 é o desvio padrão dado pelo programa e o segundo membro na raiz é a incerteza teórica do equipamento de medição.

A partir de uma técnica de análise da variância, como descrito na Norma ISO 5725 [5], é possível estimar a reprodutibilidade no tempo.

Como os valores recolhidos, para cada ângulo nos diferentes diagramas, são uniformes, temos:

- com a média geral \hat{m} expressa

$$\text{como: } \hat{m} = \frac{\sum_{i=1}^p n_i \bar{y}_i}{\sum_{i=1}^p n_i}, \text{ onde } p \text{ é o número}$$

de recolhas;

- com o valor estimado da repetibilidade do desvio padrão calculado anteriormente;

O valor estimado da reprodutibilidade do desvio padrão

$$s_R = \sqrt{s_m^2 + s_r^2 \frac{n-1}{n}}, \text{ onde}$$

$$s_m^2 = \frac{1}{p-1} \sum_{i=1}^p (\bar{y}_i - \hat{m})^2. [15]$$

A partir dos dados adquiridos, os valores da reprodutibilidade da potência e da frequência são resumidos na Tabela 3.

Âng. (°)	\hat{m} da P (dB)	S_R da P (dB)	\hat{m} da f (GHz)	S_R da f (kHz)
7	-65,75	2,54	24,124	295
21	-65,75	2,03		
28	-43,31	1,14		
31	-38,96	0,69		
34	-42,23	0,75		
45	-62,23	3,34		
56	-65,14	2,39		

Tabela 3: Valores de \hat{m} e S_R para a potência e frequência.

Comparando os valores da reprodutibilidade obtidos com os valores da incerteza obtido pelo método B, 0,58 dB para a potência e 600 kHz para a frequência, pode-se afirmar que, para aquisições próximas do pico principal o valor da incerteza da frequência é inferior ao obtido num diagrama manual. A incerteza da potência nos valores angulares próximos do pico principal é comparável à incerteza obtida pelo método B, enquanto para valores angulares afastados do pico principal, a reprodutibilidade do diagrama de radiação automático aumenta. Este valor mais elevado deve-se à flutuação dos valores lidos da potência, pelo analisador espectral, para valores de potência próximos dos -50 dB.

Conclusão

A introdução da tecnologia LabVIEW para o Controlo Metrológico dos cinemómetros-radar, realizado no LFR, traduziu-se numa melhoria na recolha e no registo dos dados dos diagramas de radiação de antena. Este programa foi validado pela obtenção dum diagrama de radiação de antena de onde se deduziram os mesmos parâmetros que os dum diagrama de radiação antes da automatização.

Ao aplicar o programa criado para estudar sistematicamente durante 24 horas e numa largura angular de 360 ° no plano horizontal, para diferentes modelos de antenas de cinemómetros-radar, foi justificado o procedimento utilizado para os diagramas de radiação de antena no Controlo Metrológico. Os andamentos desses diagramas são muito comparáveis.

A introdução desta ferramenta para os ensaios de laboratório do Controlo Metrológico dos cinemómetros-radar permite também aumentar significativamente os tempos de execução

além do rigor dessas operações e, portanto, a produtividade do Laboratório. A adaptação do programa permitiu também calcular a repetibilidade e a reprodutibilidade das medições efectuadas na obtenção do diagrama de radiação de antena.

Referências

[1] O. Pellegrino, "Periodical Verifications of car speedometers at the Portuguese Institute for Quality", "International Congress of Metrology", Saint-Louis (France), 2003. O. Pellegrino, "Controlo Metrológico dos Cinemómetros", "SPMet. 1º Encontro Nacional", Caparica (Portugal), 2004.

[2] Organização Internacional de Metrologia Legal (OIML) número 91, 1990.

[3] Decreto-Lei nº 291/90 de 20 de Setembro, Diário da República N°218 de 20-9-1990, 1ª Série.

[4] "Guide the Expression of uncertainty in Measurement", first edition, ISO , Switzerland (1993).

[5].ISO 5725:1994, "Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results"