

## CONTROLO METROLOGICO DE ALCOOLÍMETROS NO INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE

M. Céu Ferreira; António Cruz  
Instituto Português da Qualidade  
Rua António Gião, 2  
2829 –513 Caparica  
Portugal

### RESUMO

Durante as últimas décadas a metrologia do etanol tem atraído vastos interesses ligados ao problema da alcoolemia.

Uma das actividades do Laboratório Central de Metrologia (LCM) do Instituto Português da Qualidade (IPQ) é o controlo metrológico dos alcoolímetros utilizados na fiscalização da condução sob o efeito do álcool. O Código da Estrada, em matéria de controlo da alcoolemia, estabelece limiares para diferenciação de penalidades, em função do Teor de Álcool no Sangue (TAS) medido em grama por litro (g/L). Contudo, a determinação do Teor de Álcool ingerido através do ar Expirado (TAE) é a análise a que habitualmente se recorre, para testar a transgressão aos limites de contravenção, utilizando-se para o efeito de conversão a seguinte relação:

$$1 \text{ mg/L (TAE)} = 2,3 \text{ g/L (TAS)} \quad \text{eq. (1)}$$

Esta relação é definida por convenção na lei, dado que é função da constituição física média da população, consequentemente, não é idêntica em todos os países.

A legislação prevê ainda que a determinação do Teor de Álcool no Sangue (TAS) pode ser conhecida através da colheita de sangue.

Pretende-se com esta comunicação divulgar a adaptação à realidade nacional das capacidades metrológicas dos alcoolímetros, designadamente na articulação entre as operações de controlo metrológico e a incerteza expandida da medição (U) associada às respectivas tolerâncias de verificação metrológica.

**Palavras Chave:** Alcoolímetro, Controlo Metrológico TAS, TAE, Erro, Tolerância.

### INTRODUÇÃO

A análise do álcool no ar expirado é um elemento de grande importância na política de prevenção contra a condução sob o efeito do álcool.

Com o progresso tecnológico, desenvolveram-se instrumentos de medição, criando-se condições para que na década de 80 e nos países desenvolvidos, tenha-se assistido ao início do controlo da alcoolemia na estrada, de uma forma prática e eficiente. Em Portugal, este controlo iniciou-se também nos anos 80 com os alcoolímetros já existentes no mercado, mas apenas em 1991, seria publicada a Portaria nº 110, que veio regulamentar o uso desses alcoolímetros pelas entidades fiscalizadoras do Código da Estrada.

Para o controlo da alcoolemia existem basicamente duas tipologias de alcoolímetros:

- a) Alcoolímetro de despiste, também designado por qualitativo,
- b) Alcoolímetro evidencial ou quantitativo.

Os primeiros não são submetidos a controlo metrológico, sendo aconselhável a calibração periódica. Realizam a determinação da TAS com células de combustível que são dispositivos electroquímicos produtores de corrente eléctrica (contínua). Esta corrente provém das reacções que envolvem o consumo de gás (gás expirado) compatível com os eléctrodos metálicos da célula.

Os alcoolímetros evidenciais apresentam na sua constituição uma célula electroquímica e um segundo circuito de quantificação, baseado na espectroscopia de infravermelho. Também designados por alcoolímetros quantitativos, apresentam regulamentação, sendo submetidos a Aprovação de Modelo e Controlo Metrológico.

### O ÁLCOOL NO CORPO

O álcool, que para simplificar vamos considerar apenas como sendo o etanol, é um composto orgânico, constituído por carbono, hidrogénio e oxigénio (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH), que uma vez ingerido, no tracto gastrointestinal, é absorvido por difusão e entra rapidamente na circulação sanguínea. A presença de etanol no corpo humano atinge o seu valor máximo quando inicia a passagem para a circulação sanguínea, mas não é constante ao longo de um

determinado intervalo de tempo, devido à variabilidade da respectiva taxa de absorção [3].

Durante a fase inicial da absorção, o sangue fornece álcool aos tecidos corporais até ser atingido o equilíbrio (a concentração de etanol dentro e fora das células é a mesma).

A fase de eliminação do etanol corresponde à diminuição da sua concentração devido à oxidação bioquímica, que ocorre principalmente no fígado. Neste órgão, o metabolismo do etanol é inicialmente processado pela acção da enzima Álcool Desidrogenase (ADH) que converte o etanol em acetaldeído, e que por sua vez se converte em Ácido Acético devido à actuação da Aldeído Desidrogenase (ALDH). O produto final do metabolismo será dióxido de carbono e água.

A eliminação do etanol pelo corpo processa-se por várias etapas [8], sendo este conjunto de processos importantes para efeitos forenses. Assim, a concentração de álcool no sangue num dado momento, é determinada pela sua absorção, distribuição e eliminação, sendo crucial para a determinação da concentração no sangue, o efeito combinados das etapas mencionadas.

No estudo das curvas de absorção/eliminação do álcool há vários aspectos que devem ser tidos em consideração:

- a) a concentração de álcool na última ingestão
- b) a concentração máxima de álcool alcançada
- c) o tempo que decorre entre a) e b)
- d) a velocidade de diminuição da concentração

### **FUNDAMENTOS FISIOLÓGICOS DA MEDIÇÃO NO AR EXPIRADO**

A aplicação forense da medição no ar expirado foi considerada pela primeira vez em 1927, quando se estabeleceu uma relação directa entre a concentração no ar expirado e na urina.

Vários estudos realizados no passado, demonstraram a relação entre a quantidade de álcool contida no ar expirado e no sangue [7], [5], [1].

A quantificação dessa relação baseou-se no processo fisiológico que permite a permuta de gases nos alvéolos pulmonares e, portanto, a concentração de álcool no ar expirado depende directamente da quantidade do ar alvéolar presente na amostra de ar a analisar.

A determinação do teor de álcool no sangue através do ar expirado, baseia-se na existência de uma relação bem definida entre o teor de álcool no sangue que passa para os pulmões e o ar presente nos alvéolos.

Na fase final da inspiração, estabelece-se nos pulmões, um equilíbrio entre as fases líquida e gasosa do etanol em que a concentração de álcool na fase gasosa depende da concentração da fase líquida, tendo em consideração que a temperatura interna é aproximadamente constante. Este equilíbrio é favorecido pelo facto dos alvéolos não se esvaziarem completamente mesmo em expiração forçada. Assim, durante uma inspiração, a porção inicial de ar provém do ar residual das vias respiratórias, e só depois é

admitido ar exterior. De acordo com os mesmos critérios, a primeira porção de ar expirado provém do ar residual, o qual contém menos álcool que o ar alvéolar. O ar expirado contém também uma pequena porção de etanol que provém da sua difusão através do sangue, pela saliva e pelas mucosidades que revestem a boca e traqueia.

Ao longo do tempo têm sido conduzidas várias investigações internacionais com o propósito de determinar a correlação entre as concentrações de álcool no sangue e no ar. Esta relação está estabelecida desde os anos 30 e desde então foi desenvolvida instrumentação apropriada que evoluiu enormemente ao longo do século.

### **COMPARABILIDADE E FIABILIDADE DA TAS E DA TAE**

O Código da Estrada, em matéria de controlo da alcoolémia, estabelece hoje limiares para diferenciação de penalidades, em função do valor da alcoolémia, medido em gramas por litro (g/L) do Teor de Álcool no Sangue (TAS).

A aplicação das coimas e sanções acessórias é regulada no Decreto-lei nº 2/98. O mesmo diploma estabelece as regras processuais e demais disposições que aqui não são relevantes. Define ainda os procedimentos para a fiscalização através da medição do Teor de Álcool no ar Expirado (TAE) e as garantias dos condutores. Estes podem requerer a contraprova de imediato em “aparelho aprovado especificamente para o efeito” ou uma “análise de sangue”. Para esta, o condutor deve ser conduzido “o mais rapidamente possível a estabelecimento hospitalar” para a necessária colheita de sangue. Para efeitos da conversão da TAE em TAS, o mesmo diploma fixa a relação aplicável de

$$1 \text{ mg/L (TAE)} = 2,3 \text{ g/L (TAS)}$$

Ao dar aos infractores, como possibilidade de recurso depois da medição da TAE, a hipótese da medição da TAS, uma vez que a determinação desta mediante análise não é simultânea com a da TAE, implica que se tenham ponderar criteriosamente outros aspectos.

Desde logo, não se deviam pôr em paralelo dois processos com estatutos de fiabilidade não comparáveis. A fiabilidade dos processos de análise da TAS pode ser posta em causa, porque a sua qualidade não é regulamentada nem atestada por qualquer entidade, seja a instrumentação, sejam os meios de referência usados como padrão. Ao não serem submetidos a controlo metrológico obrigatório, não têm paralelo com a fiabilidade da disciplina do controlo metrológico obrigatório a que é submetida a instrumentação de medição da TAE. Depois, porque os processos de absorção e de eliminação do álcool não são constantes ao longo do tempo. Enquanto o valor da TAE é medido instantaneamente no momento da fiscalização, e é esse o momento relevante para efeitos de uma penalidade a aplicar, o eventual valor da TAS é inevitavelmente medido num momento posterior, perdendo-se a relação directa com a TAE. Em regra, existe um grau de concordância razoável desde que o tempo decorrido entre a medição da

TAE e da TAS não seja superior a ½ hora. Estudos comparativos entre as medições efectuadas para a TAS e a TAE, dentro deste intervalo de tempo, revelam, em regra, para os aparelhos existentes no mercado e submetidos ao controlo metrológico, uma menor incerteza de medição para a TAE e, conseqüentemente, uma maior fiabilidade para as medições.

Para uma melhor compreensão desta temática, os autores sugerem a leitura de artigos científicos relevante [1], [3], [5].

## **CONTROLO METROLÓGICO**

A existência de aparelhos de diferentes tecnologias e características metrológicas, mais ou menos fiáveis, exigia que se estabelecesse um quadro regulamentar claro, tendo em vista proporcionar, quer às forças fiscalizadoras quer aos condutores, garantias de que as medições efectuadas eram rigorosas. Nessa Portaria específica, era criado um quadro regulamentar harmonizado com o tradicional para o controlo metrológico de quaisquer instrumentos de medição (regulados, em geral, pelo Decreto-Lei 291/90 e pela Portaria 962/90) e adoptada como norma técnica de referência uma norma francesa NF X 20-701, ao tempo a mais considerada na Europa.

Assim, os instrumentos a utilizar para o efeito em causa passaram a ter de ser submetidos a um conjunto de operações: previamente à sua colocação no mercado, a uma Aprovação de Modelo (AM) pelo IPQ, depois a Primeira Verificação (PV) antes de serem colocados em serviço e, durante toda a sua vida útil, a Verificação Periódica (VP) anual. Este é o esquema do quadro regulamentar que ainda hoje persiste, muito embora aquela Portaria específica tenha sido reformulada em aspectos de pormenor pela Portaria 748/94, hoje em vigor. A norma francesa impunha determinados requisitos técnicos construtivos e de desempenho, nos quais a regulamentação se baseou para definir a grelha de requisitos para as diversas operações metrológicas. Uma vez que, com a sua utilização intensiva, as características de funcionamento dos aparelhos tem tendência para se degradar, desde logo se definiu na Portaria que os erros máximos admissíveis (EMA) na VP seriam 1,5 vezes superiores aos exigidos na AM e na PV, unicamente definidos na norma francesa.

Em 1998 concluíram-se os trabalhos em curso na Organização Internacional de Metrologia Legal (OIML) e foi publicada a Recomendação nº 126 que contém um quadro regulamentar mais conforme com os modelos da regulação metrológica internacionais e, nesse sentido, mais completo e mais actual que o da norma francesa atrás referida. Esta Recomendação, entre outras disposições, já veio diferenciar os EMA aplicáveis à VP, tal como é regra geral na legislação nacional, para todos os instrumentos de medição.

Todo este quadro regulamentar, de acordo com os princípios gerais do controlo metrológico, proporciona às partes envolvidas na utilização dos aparelhos uma garantia do Estado de que funcionam adequadamente para os fins respectivos e as respectivas indicações são suficientemente

rigorosas para a determinação dos valores legalmente estabelecidos.

A sua comprovação, para todos os efeitos legais, faz-se pela aposição dos símbolos do controlo metrológico, nomeadamente pelo da Aprovação de Modelo e o da verificação anual válida, em cada aparelho submetido ao controlo metrológico, garantindo a sua inviolabilidade.

## **ERROS MÁXIMOS ADMISSÍVEIS (EMA)**

A definição, através da Portaria nº 748/94, de determinados erros máximos admissíveis, quer para a Aprovação de Modelo e Primeira Verificação, quer para a Verificação Periódica, visa definir barreiras limite dentro das quais as indicações dos instrumentos de medição, obtidas nas condições estipuladas de funcionamento, são correctas. Ou seja, um alcoolímetro de modelo aprovado e com verificação válida, utilizado nas condições normais, fornece indicações válidas e fiáveis para os fins legais.

Comparativamente, os erros máximos admissíveis resultantes da NF X 20-710 e da OIML R 126 são os seguintes, em termos de TAE, para a Verificação Periódica:

TAE (mg/L)	Erro Máximo Admissível	
	NF X 20-701	OIML R 126
0 < TAE < 0,40	± 0,03 mg/L	± 0,03 mg/L
0,40 ≤ TAE < 1,00	± 7,5 %	± 8 %
1,00 ≤ TAE < 2,00	± 15 %	
2,00 ≤ TAE < 3,00	± 30 %	± 30 %

Quadro 1: EMA (mg/L)

Convertendo a TAE em TAS, através da relação estabelecida na lei (eq. 1) teremos:

TAS (g/L)	Erro Máximo Admissível	
	NF X 20-701	OIML R 126
0 < TAS < 0,92	± 0,07 g/L	± 0,07 g/L
0,92 ≤ TAS < 2,30	± 7,5 %	± 8 %
2,30 ≤ TAS < 4,60	± 15 %	
4,60 ≤ TAS < 6,90	± 30 %	± 30 %

Quadro 2: EMA (g/L)

Para os limiares de diferenciação de penalidade estabelecidos na lei, teremos, em TAS (usando os valores resultantes da NF X 20-701) e convertidos em TAE,:

Limiar	EMA	Limiar	EMA
0,5	± 0,07 g/L	0,22	± 0,03 mg/L
1,0	± 7,5 %	0,43	± 7,5 %
1,2		0,52	

Quadro 3: Diferenciação de penalidades

Ou, em valores absolutos:

Limiar TAS (g/L)	EMA TAS (g/L)	Limiar TAE (mg/L)	EMA TAE (mg/L)
0,5	± 0,07	0,22	± 0,030
1,0	± 0,075	0,43	± 0,032
1,2	± 0,09	0,52	± 0,039

Quadro 4: Limiares de diferenciação em valor absoluto

Os EMA são limites definidos convencionalmente em função não só das características dos instrumentos, como da finalidade para que são usados. Ou seja, tais valores limite, para mais e para menos, não representam valores reais de erro, numa qualquer medição concreta, mas um intervalo dentro do qual, com toda a certeza (uma vez respeitados os procedimentos de medição), o valor da indicação se encontra. É sabido que a qualquer resultado de medição está sempre associada uma incerteza de medição, uma vez que não existem instrumentos de medição absolutamente exactos. Esta incerteza de medição é avaliada no acto da aprovação de modelo por forma a averiguar se o instrumento durante a sua vida útil possui características construtivas, por forma a manter as qualidades metrológicas regulamentares, nomeadamente fornecer indicações dentro dos erros máximos admissíveis prescritos no respectivo regulamento.

É por isso, que em domínios de medição com vários níveis de exigência metrológica se definem classes de exactidão em que os EMA são diferenciados de classe para classe. No caso dos alcoolímetros não existem classes de exactidão diferenciadas, mas existem dois tipos de alcoolímetros: uns designados de “qualitativos”, outros de “quantitativos”. Apenas este últimos têm características metrológicas susceptíveis de ser utilizados para medir a alcoolémia, para fins legais, dentro dos EMA definidos na lei. Os designados de qualitativos apenas servem para despistar ou confirmar situações de alcoolémia mais ou menos evidente, exigindo depois, se for caso disso, uma medição rigorosa com um alcoolímetro quantitativo legal.

## VERIFICAÇÕES PERIODICAS DE ALCOOLÍMETROS NO IPQ/LCM

Nos termos da Portaria nº 784/94, compete ao IPQ efectuar as operações de controlo metrológico, operações essas em que se verifica a conformidade dos instrumentos com os referidos erros máximos admissíveis.

Neste âmbito, são verificados aproximadamente quinhentos alcoolímetros evidenciais (quantitativos), oriundos das entidades fiscalizadoras, em cada ano.

O procedimento de verificação baseia-se no método comparativo através do qual a indicação do instrumento é comparada com o valor convencionalmente verdadeiro do gás de referência que fora submetido a análise no respectivo alcoolímetro, simulando desta forma o ar expirado.

O gás de referência, designado por Material de Referência Certificado (MRC) é constituído por misturas binárias de etanol em azoto e apresenta-se em cinco concentrações distintas, abrangendo a gama de medição dos alcoolímetros em verificação. Para cada concentração em ensaio, são feitos ensaios de repetibilidade, com determinação do desvio padrão do ensaio, erro e respectiva incerteza.

Na estimativa da incerteza da medição [4], são apenas consideradas as fontes com influência directa no resultado da medição, admitindo a não existência de correlação, de acordo com o seguinte diagrama:

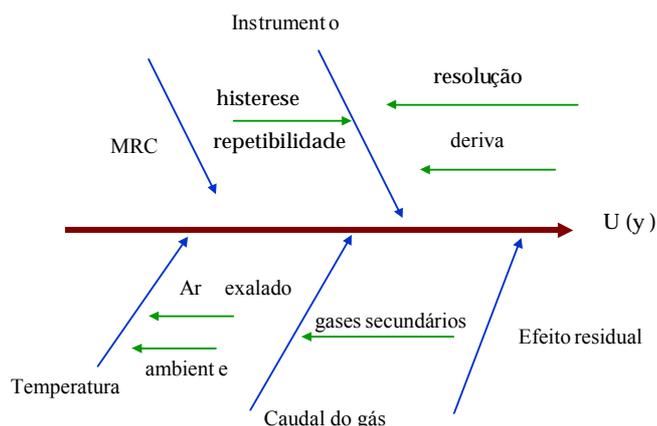


Figura 1: Diagrama de fontes de incerteza

## RESULTADOS

De acordo com os resultados das medições realizadas aos alcoolímetros evidenciais que foram verificados durante o 3º trimestre de 2006, afirma-se que os mesmos obedecem a uma distribuição normal [4]. Significa dizer que 5 % dos instrumentos não foram aprovados por apresentarem erros superiores aos máximos admissíveis (figura 2).

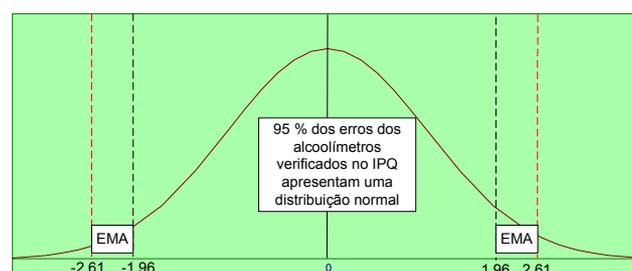


Figura 2: Distribuição Normal

O estudo da linearidade destes instrumentos, constitui outra ferramenta de análise cujo valor de correlação é também considerado para o parecer global da verificação. A figura 3 mostra o comportamento linear, tipicamente apresentado pelos alcoolímetros durante os ensaios de controlo metrológico.

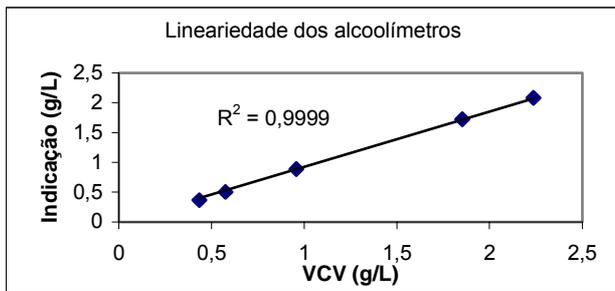


Figura 3: Correlação dos alcoolímetros

Considerando que as verificações metrológicas estão balizadas com os intervalos de tolerância referidos anteriormente, é possível evidenciar que o somatório da incerteza com o erro da medição está perfeitamente enquadrado no referido intervalo de tolerâncias (figura 4).

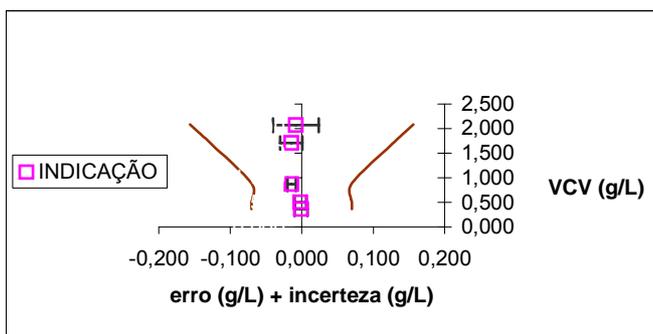


Figura 4: Relação entre erro, incerteza e tolerância

## CONCLUSÃO

De acordo com os resultados laboratoriais obtidos durante as operações de controlo metrológico, demonstra-se que os EMA não são uma “margem de erro”, nem devem ser interpretados como tal [7].

O valor da indicação do instrumento é em cada situação, o mais correcto. O eventual erro da indicação, nesse momento, nessa operação, com o operador que a tiver efectuado, nas circunstâncias de ambiente locais, quaisquer que tenham sido outros factores de influência externos ou contaminantes do ar expirado, seja ele positivo ou negativo, está com toda a probabilidade contido nos limites do EMA.

Por essa razão, e por todos os aspectos desenvolvidos ao longo deste trabalho, os autores defendem a ideia de que a instrução de processos de contra-ordenação, pelas entidades competentes, deveria observar os estritos limites definidos na lei, para as respectivas penalidades. Os condutores autuados deveriam, se assim o entenderem, recorrer das faculdades legais que a lei lhes faculta e, os tribunais, em última instância, julgarem com objectividade cada situação, tendo em conta as circunstâncias atenuantes ou agravantes que entenderem soberanamente considerar, usando sabiamente o princípio de *in dubio pro reu*.

## REFERÊNCIAS

- [1] Alan Wayne, Lars L., et al. *Magnitude and Time-Course of Arterio-Venous Differences in Blood-Alcohol Concentration in Healthy Men*. Clin Pharmacokinet 2004, 43 (15): 1157-1166.
- [2] Dubowski, K.M. e Essary, N.A., *Vapor-Alcohol Control Tests with Compressed Ethanol Gas Mixtures: Scientific Bases and Actual Performance*. Journal of Analytical Toxicology, 20, 484-491.
- [3] Dubowski, K.M. *Biological Aspects of Breath-Alcohol Analysis*. Clinical Chemistry, Vol 20, Nº 2, 294-299 (1974).
- [4] ISO GUM, *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*, 1995.
- [5] M. Pavlic, P. Grubwieser, A. Brandstatter, K. Libiseller, W. Raba. *A study concerning the blood/breath alcohol conversion factor*. Forensic Science International, 158 (2006), 149-156.
- [6] NFX 20-701, *Éthylomètre – Specifications and test methods*, 1992.
- [7] OIML R 126, *Evidential Breath Analyzers*, 1998
- [8] Steven B. Karch., M.D. *Drug Abuse Handbook*. CRC Press, San Francisco, California.