

a rastreabilidade das medições no domínio elétrico

Vitor Cabral¹, Isabel Godinho
Instituto Português da Qualidade, I. P. Q.
¹vcabral@ipq.pt

Em qualquer domínio de atividade (técnico, científico, comercial, entre outros) a rastreabilidade das medições é um aspeto essencial para assegurar o rigor dos resultados e a sua comparabilidade.

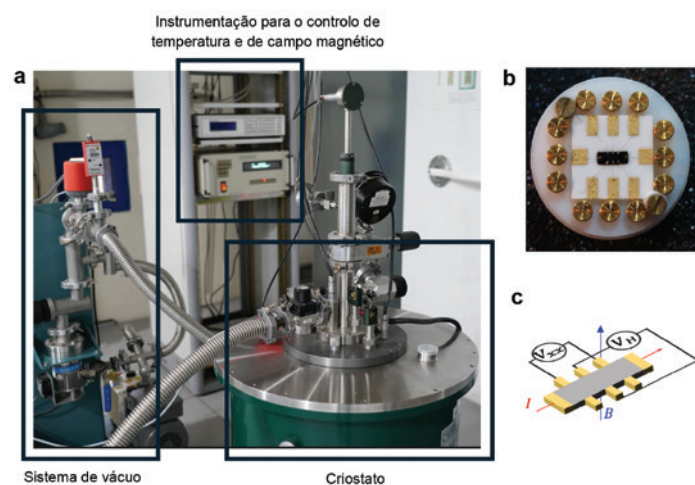


Figura 1. a. Sistema experimental do IPQ para a realização prática da unidade de resistência elétrica - ohm - através do Efeito de Hall Quântico, onde o sistema de vácuo e o criostato asseguram um valor de temperatura da ordem de 1 kelvin; **b.** Imagem de uma amostra de Hall baseada numa heteroestrutura de GaAs/AlGaAs; **c.** Representação esquemática de uma amostra de Hall, onde V_H corresponde à tensão quântica gerada nos seus terminais quando esta é percorrida por uma corrente elétrica I , submetida a um campo magnético B verificando-se um valor de V_{xx} próximo de zero.

A rastreabilidade metrológica é definida como a "propriedade dum resultado de medição pela qual tal resultado pode ser relacionado a uma referência através duma cadeia ininterrupta e documentada de calibrações, cada uma contribuindo para a incerteza de medição". Esta cadeia de calibrações, em que o resultado da indicação de um instrumento de medição é relacionado com a indicação de um outro instrumento de medição (padrão) de exatidão superior, assegura a ligação a uma referência comum estabelecida pelo topo da cadeia. Essa referência, ou padrão de referência, materializa uma quantidade expressa, com o maior rigor possível, de acordo com o estado da arte, nas unidades de medida acordadas para a grandeza física ou química em questão, e assegurando, dessa forma, a comparabilidade e uniformidade das medições.

As unidades de medida são estabelecidas por convenção entre os Estados-Membros e sob a responsabilidade do Bureau International des Poids et Mesures (BIPM), organização internacional e intergovernamental, criada em 1875, através do tratado da Convenção do Metro, da qual Portugal é membro fundador.

Em 2019, o BIPM publicou a última revisão do Sistema Internacional de Unidades (SI), passando as 7 unidades base (quilograma, metro, segundo, ampere, kelvin, candela, mole) a estarem

definidas em termos de constantes fundamentais da natureza, com valores imutáveis e exatos (publicada em maio de 2025 a Tradução Luso-Brasileira). As unidades de medida das grandezas derivadas são estabelecidas através de produtos de potências das unidades base.

Os Institutos Nacionais de Metrologia, entre outros aspetos, são responsáveis por estabelecer a realização prática das definições das unidades de medida e por assegurar a rastreabilidade das medições ao SI através da calibração de instrumentos de medição, nomeadamente dos padrões usados pelos Laboratórios de Calibração acreditados que, por sua vez, asseguram a calibração de instrumentos de medição usados na indústria e serviços. Em Portugal, essa missão é assegurada pelo IPQ – Instituto Português da Qualidade.

A definição atual da unidade base da corrente elétrica, ampere, estabelece que 1 A corresponde ao fluxo de $1/(1,602\,176\,634 \times 10^{-19})$ cargas elementares por segundo.

Historicamente, a realização da unidade de corrente elétrica apresenta maior dificuldade do que a realização prática do volt e do ohm. Enquanto estas são materializadas, respetivamente, através dos Efeitos Quânticos de Josephson e de Hall, que asseguram a sua rastreabilidade direta às constantes fundamentais da natureza – constante de Planck (h) e carga elementar (e) – a definição prática do ampere recorreu, durante décadas, à sua determinação indireta pela lei de Ohm. Atualmente, a aplicação universal destes efeitos quânticos torna possível a realização prática do ampere. As Figuras 1 e 2 ilustram, de forma esquemática, os sistemas experimentais implementados no IPQ para a realização prática destas unidades elétricas.

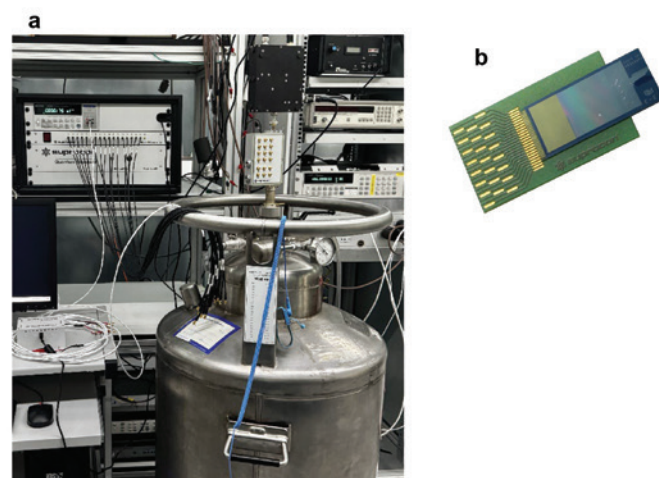


Figura 2. a. Sistema experimental do IPQ para a realização prática da unidade de tensão - volt - através do Efeito Quântico de Josephson, que inclui um dewar com hélio líquido, para manter o padrão de tensão a temperaturas criogénicas (da ordem de 4 kelvin), bem como a instrumentação de controlo e medição; **b.** Imagem do padrão de tensão de Josephson, constituído por milhares de junções supercondutor-isolador-supercondutor programáveis para gerar valores quânticos de tensão entre 0 V e 10 V, em regime contínuo e alterando (DC e AC).