Capítulo 1

Conceitos e atitudes fundamentais em Física

[1]A **Física** é a ciência que estuda os fenómenos naturais; ∼ atómica: estudo das propriedades físicas dos átomos considerados como um todo, isto é, núcleo e certo número de electrões associados; ∼ nuclear: estudo das propriedades físicas dos núcleos atómicos, associado ao tratamento matemático destas propriedades. (Do gr. physiké [epistéme] ≪ciência da natureza≫, pelo lat. physîca-, ≪física; ciências naturais≫.)

Muitas das melhorias ocorridas nas condições de vida da humanidade devem-se às descobertas da Física. Atente-se, por exemplo, no impacto da descoberta do raios X, em 1895 por W. C. Röntgen, na Medicina, na Biologia e na Química. Para se ter uma ideia do impacto de algumas destas descobertas, basta considerar o número de cidadãos na faixa etária dos 50 aos 80 anos ainda vivos, em resultado do uso de "pacemakers" e de toda a restante panóplia de equipamentos usados pela enfermagem e medicina modernas.

O objectivo deste capítulo é alertar para a necessidade do desenvolvimento de um espírito crítico e analítico, essencial ao bom desempenho nas disciplinas de Física. Com este propósito, discutem-se alguns dos conceitos, atitudes e competências associadas à disciplina de Física que, se assimilados, tendem a facilitar o estudo e a compreensão dos fenómenos físicos. Introduzem-se as unidades de medida das diferentes grandezas físicas e as regras de escrita das grandezas e das unidades do sistema legal de unidades de medida adoptado em Portugal. Por fim, alerta-se para o desenvolvimento da capacidade de fazer aproximações e estimativas.

1.1 Física: a ciência da descoberta

A Física tem vindo a mudar o nosso conhecimento sobre o modo como a Natureza se comporta (e claro está sobre o modo como o corpo humano funciona). Um Físico procura descrever estes

[1]Notas de Biofísica, José Figueiredo, Departamento de Física da Universidade do Algarve, 2005

comportamentos com a ajuda de modelos simples. Várias ferramentas são essenciais para esta tarefa: uma mente curiosa, alguma criatividade, a Matemática, e métodos e aparelhos de medida. As duas últimas permitem que a descrição e interpretação dos fenómenos seja objectiva e *exacta*, e nelas se baseiam as teorias sobre os diferentes fenómenos físicos. A observação e a experimentação são as chaves mestras do nosso conhecimento sobre o mundo físico, combinados com a lógica e a razão (a formulação de ideias em Física envolve certas quantidades de *pensamento "puro"* e *imaginação*).

Porém, o teste de qualquer teoria é sempre a Natureza e/ou a experimentação. Eis um de muitos exemplos: as leis do movimento e a lei da gravitação universal, associadas ao nome de Isaac Newton, são consideradas entre as mais altas realizações da espécie humana. Trezentos anos mais tarde continuamos a usar a dinâmica newtoniana para prever os eclipses, e para enviar, a milhares de quilómetros de distância da Terra, uma nave espacial a um ponto pré determinado na órbita de um corpo celeste (só com pequenas correcções devidas a Einstein). A precisão é extraordinária: sem sombra de dúvida, Newton sabia o que estava a fazer quando propôs as leis do movimento e a lei da gravitação universal.

A Física é mais do que um corpo de conhecimentos, é uma atitude, uma forma de pensar. Em cada geração há sempre um grupo de cientistas que não se contentam em deixar as coisas como estão. Com toda a persistência, procuram fendas na armadura dos conhecimentos vigentes. Foi assim com a Mecânica Newtoniana e, actualmente, passa-se o mesmo com a Teoria da Relatividade. Um dos *mandamentos* da Física, e da Ciência em geral, é "desconfiar das afirmações das sumidades": não esquecer que os cientistas são primatas e, portanto, muito propensos a hierarquias de domínio. A Física dá, por vezes, as mais elevadas recompensas àqueles que convictamente refutam convicções estabelecidas.

O bom cientista não insiste na validade da sua teoria mas sim na sua utilidade. Nenhuma teoria, por muito bem concebida ou considerada que esteja, poderá suportar a existência de um só facto importante que seja contraditório. O que interessa não é se "é verdadeira?", mas sim "funciona?". O progresso surge quando se mantém a vontade de desacreditar ou modificar essa teoria ao primeiro sinal de falhanço. Os factos nunca estão enganados! Uma das causas de muitos equívocos é a diferença existente entre a impossibilidade teórica e a impossibilidade dos factos. Considere-se, a título de exemplo, a seguinte situação caricata: Um advogado procura tranquilizar o seu cliente dizendo "não se preocupe, eles não o podem prender por isso!", respondendo o cliente "estou a telefonar-lhe da cadeia." São as teorias e não os factos que caiem por terra.

Por mais importante que seja uma teoria ela só corresponde a uma descrição completa

do fenómeno quando este tiver uma descrição físico-matemática. Por exemplo, apenas quando Kepler deu a descrição físico-matemática do movimento planetário e Newton derivou o mesmo resultado usando a sua teoria da gravitação universal se pôde dizer que foi feita a análise *completa* do movimento da Terra e dos planetas (conhecidos até então) em torno do Sol.

Os seres humanos anseiam por certezas absolutas e aspiram a elas. Contudo, a história da Física ensina-nos que o máximo que podemos esperar são melhoramentos sucessivos na nossa compreensão, sempre com a limitação de sabermos que a absoluta certeza nos escapará sempre. A Física não promete a verdade absoluta sobre a Natureza, pois é uma ciência experimental, e as experiências nunca são perfeitas. O nosso conhecimento da Natureza apresenta sempre alguma imperfeição, pois tem as suas fundações na medição experimental e na observação. O máximo que cada geração pode esperar é, aprendendo a partir dos nossos erros, reduzir um pouco as barras de erro, à medida que aumentamos a quantidade de dados aos quais elas se aplicam. A extensão e a precisão do nosso conhecimento da Natureza será, com certeza, maior no futuro.

1.2 O método científico e a linguagem da Física

A mera acumulação de factos não constitui conhecimento bastante para formar uma "boa" ciência. Para que do conhecimento destes factos resulte uma maior compreensão do Universo é necessário entender/descobrir as relações entre eles. Para tal utiliza-se o método científico: a interligação da observação, da razão e da experiência.

O progresso em ciência só ocorre como resultado da relação de simbiose que existe entre a informação observacional e a formulação de ideias/modelos que correlacionam os factos e nos permitem apreciar as inter-relações entre factos. Devemos estar sempre alerta para novas ideias e estar preparados para tirar vantagem de oportunidades inesperadas.

Na verdade, o método científico não é um método de facto, mas antes uma atitude ou *filosofia/postura* que se baseia na forma como inter-agimos com o mundo real e tentamos ganhar conhecimento sobre a forma como a Natureza funciona. Johannes Kepler (1571-1630) seguiu o método científico quando analisou um número incrível de observação sobre as posições dos planetas no céu.[2] A partir desses dados ele foi capaz de deduzir a correcta descrição do movimento planetário: os planetas movem-se em órbitas elípticas em torno do Sol. De facto, um dos passos mais significantes no sentido do nosso conhecimento do comportamento da Natureza foi a conclusão de que é a Terra que se move em torno do Sol e não o contrário. A simples afirmação de que a "Terra se move em torno do Sol" representa uma nova dimensão em termos

[2] Grande parte delas realizadas por Tycho Brahe (1546-1601).

do pensamento físico.

O procedimento de Kepler - *amassar* os dados e tentar várias hipóteses - até que se encontre uma que satisfaça toda a informação recolhida - não é o único meio de utilizar o método científico. Por vezes, os cientistas formulam uma descrição físico-matemática geral de um conjunto de possíveis eventos e/ou resultados. Isto é, há casos em que primeiro se propõe uma teoria/modelo para descrever um comportamento geral e só depois se faz a sua comparação com a realidade. Os trabalhos de Einstein, sobre a Relatividade, e de Schrodinger, sobre a Física Quântica, são dois exemplos deste procedimento.

1.3 Unidades fundamentais de medida

Muitos atributos de um fenómeno, de um corpo ou de uma substância, são susceptíveis de ser caracterizados qualitativamente e determinados quantitativamente. Em Física é corrente encontrar uma variedade de quantidades ou grandezas. Por exemplo, o comprimento, o tempo, a velocidade, a massa, o momento, a força, a aceleração, a energia. Estas quantidades/grandezas podem apresentar, para além da magnitude, dimensões e unidades.[3] Por exemplo, não faz sentido dizer que um comprimento é 12. Devemos também especificar as unidades em que a magnitude apresenta este valor: dizer que o comprimento é 12 centímetros ou 12 quilómetros faz uma grande diferença.

É também necessário possuir padrões para as unidades das medidas físicas. Se se afirma que o tamanho de um lote de terreno é 30 passos por 60 passos, apenas ficámos com uma ideia grosseira da sua área. Se, contudo, se se afirmar que o tamanho é 20 metros por 40 metros, conhece-se precisamente a área porque o metro está bem definido e é um padrão da unidade de comprimento. Neste texto usa-se o sistema métrico de medidas físicas. As unidades métricas e as abreviaturas usadas são aquelas recomendadas pelas comissões do "Le Système International d'Unités" (de ora avante referidas como unidades SI).

Para expressar uma grandeza é necessário definir um sistema de unidades e um procedimento de medição para determinar o valor numérico. A expressão de uma grandeza comporta dois factores: a grandeza padrão (denominada tecnicamente a unidade) da mesma espécie que a grandeza que se pretende exprimir; o outro factor é o número de vezes que o padrão está contido na grandeza considerada (valor numérico da grandeza). A medição de uma grandeza corresponde à determinação, directa ou indirecta, da razão entre a grandeza e a sua unidade.

Muitas grandezas ficam completamente definidas apenas por um valor numérico, com ou sem unidades, conforme as grandezas sejam dimensionais ou adimensionais. Estas grandezas

[3] A dimensão de uma grandeza corresponde à relação de uma unidade com as unidades fundamentais.

são denominadas grandezas escalares. Exemplos: a área, o comprimento, a massa, a densidade. O mesmo já não acontece com outras grandezas como, por exemplo, a força. Se afirmámos que a força aplicada a um corpo é 3 newton (3 N), não expressamos uma informação suficiente pois necessitámos, também, de saber qual a direcção e o sentido segundo os quais actua a força para perceber/prever o seu efeito. Tal como a força, há outras grandezas como, por exemplo, a velocidade ou a aceleração, que só ficam completamente definidas se se conhecer o seu valor numérico, a sua direcção e o seu sentido. Estas grandezas são denominadas grandezas vectoriais. Para representar grandezas vectoriais temos que recorrer aos vectores. As características fundamentais dos vectores são:

- o módulo (ou intensidade) - valor numérico da grandeza que o vector representa;
- a direcção - recta sobre a qual o vector se apoia;
- o sentido - orientação do vector sobre a recta em que se apoia.

Pode-se, ainda, definir o ponto de aplicação do vector - ponto onde o vector está aplicado (não é considerada uma característica fundamental do vector).

1.3.1 Sistema Internacional de Unidades (SI)

Um sistema de unidades corresponde ao conjunto de unidades de base e de unidades derivadas coerentes definidas em conformidade com as regras dadas para um dado sistema de grandezas. O Sistema Internacional de Unidades (SI) foi criado em 1960 pela 11ª Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM), com alterações posteriores, aprovadas pela CGPM em 1995, e adoptado em Portugal pelo Decreto-Lei n.° 427/83, de 7 de Dezembro, revisto posteriormente pelos Decretos-Lei nº 238/94, de 19 de Setembro e nº 254/2002, de 22 de Novembro, como o sistema legal de unidades de medida [2]. Foi determinado igualmente o uso dos múltiplos e submúltiplos daquele sistema, bem como as regras para a escrita dos símbolos. O SI é composto por: unidades de base e unidades derivadas (20ª CGPM de 1995, Resolução n.º 8, BIPM[4]).

As unidades de todas as quantidades podem ser expressas em termos das unidades básicas de comprimento, massa, tempo, temperatura, quantidade de matéria, intensidade de corrente eléctrica, e intensidade luminosa.

Unidades de base

As unidades de base do SI são sete, consideradas independentes do ponto de vista dimensional, definidas para a:

- Grandeza comprimento: a unidade SI é o metro, símbolo m. O metro é o comprimento do

[4]The International Bureau of Weights and Measures (BIPM).

trajecto percorrido pela luz no vazio, durante um intervalo de 1/(299 792 458) do segundo (17ª CGPM de 1983 - Resolução n.º 1).

- Grandeza tempo: a unidade SI é o segundo, símbolo s. O segundo é a duração de 9 192 631 770 períodos da radiação correspondente à transição entre os dois níveis hiperfinos do estado fundamental do átomo de césio 133 (17ª CGPM de 1983 - Resolução n.º 1).

- Grandeza massa: a unidade SI é o quilograma, símbolo kg.[5] O quilograma é igual à massa do protótipo internacional do quilograma (3ª CGPM de 1901 - pág. 70 das actas).[6]

- Grandeza intensidade de corrente eléctrica: a unidade SI é o ampere, símbolo A. O ampere é a intensidade de uma corrente constante que, mantida em dois condutores paralelos, rectilíneos, de comprimento infinito, de secção circular desprezável e colocados à distância de 1 metro um do outro no vazio, produziria entre estes condutores uma força igual a 2×10^{-7} newton por metro de comprimento (9ª CGPM de 1948 - Resolução n.º 2).

- Grandeza temperatura termodinâmica: a unidade SI é o kelvin, símbolo K.[7] O kelvin, unidade de temperatura termodinâmica, é a fracção 1/273,16 da temperatura termodinâmica do ponto triplo da água (13ª CGPM de 1967 - Resolução n.º 3).

- Grandeza quantidade de matéria: a unidade SI é a mole, símbolo mol. A mole é a quantidade de matéria de um sistema contendo tantas entidades elementares quantos os átomos que existem em 0,012 quilograma de carbono 12. Quando se utiliza a mole, as entidades elementares devem ser especificadas e podem ser átomos, moléculas, iões, electrões, outras partículas ou agrupamentos especificados de tais partículas (14ª CGPM de 1971 - Resolução n.º 3).

- Grandeza intensidade luminosa: a unidade SI é a candela, símbolo cd. A candela é a intensidade luminosa, numa dada direcção, de uma fonte que emite uma radiação monocromática de frequência 540 terahertz e cuja intensidade energética nessa direcção é 1/683 watt por esterradiano (16ª CGPM de 1979 - Resolução n.º 3).

Unidades Derivadas

As unidades derivadas são unidades que podem ser expressas a partir das unidades de base através dos símbolos matemáticos de multiplicação e de divisão. A algumas unidades derivadas foram atribuídos nomes e símbolos especiais que podem ser, eles próprios, utilizados com os

[5] Excepção: entre as unidades de base do SI, a unidade de massa é a única cujo nome, por razões históricas, contém um prefixo. Os nomes e os símbolos dos múltiplos e submúltiplos decimais da unidade de massa são formados pela junção dos prefixos à palavra "grama" e os símbolos correspondentes ao símbolo g.

[6] A relação entre a unidade de massa atómica (símbolo u) e o quilograma é conhecida com a precisão de apenas cerca de uma parte em 10 000. Esta precisão não é suficiente para se poder definir a unidade de massa em termos atómicos, como acontece para as unidades de tempo e de comprimento. Será necessário que os métodos de medida sejam melhoradas.

[7] Não confundir o símbolo de kelvin com o símbolo k do múltiplo quilo.

símbolos de outras unidades de base ou derivadas para exprimir unidades de outras grandezas.

O grupo de unidades derivadas do SI com nomes e símbolos especiais compreende: o ângulo plano, radiano, símbolo rad ($m \cdot m^{-1}=1$); o ângulo sólido, esterradiano, símbolo sr ($m^2 \cdot m^{-2}=1$); a temperatura Celsius, grau Celsius, símbolo ^{o}C (K).

Unidades não SI em uso com o Sistema Internacional

O International Committee for Weights and Measures (CIPM) de 1969 e, mais tarde, o de 1996 reconheceu que os utilizadores do SI terão necessidade de empregar conjuntamente certas unidades que, embora fora do sistema, estão em uso e têm um papel importante: minuto, min, 1 min=60 s; hora, h, 1 h=60 min=3 600 s; dia, d, 1 d=24 h=86 400 s; grau, °, $1°=(\pi/180)$ rad; minuto, $'$, $1'=(1/60)°=(\pi/10\ 800)$ rad; segundo, $''$, $1''=(1/60)'=(\pi/648\ 800)$ rad; litro, l ou L, 1 l=1 $dm^3=10^{-3}$ m^3; tonelada, t, 1 t=10^3 kg; neper,[8] Np, 1 Np=1; bel,[9] B, 1 B =(1/2)ln10(Np).

Outras unidades não-SI em uso com o SI devido a necessidades específicas nos domínios comercial, jurídico ou científico: milha marítima, 1 milha marítima=1852 m; nó, 1 milha marítima por hora=(1852/3600) m/s=1,852 km/h=0,5144 m/s; are, a, 1 a=1 $dam^2=10^2$ m^2; hectare, ha, 1 ha=1 $hm^2=10^4$ m^2; bar, bar, 1 bar=0,1 MPa=100 kPa=1000 hPa=10^5 Pa.

Outras unidades não-SI admitidas pelo Decreto-Lei n.° 238/94, de 19 de Setembro: vergência dos sistemas ópticos, dioptria(*), 1 dioptria=1 m^{-1}; massa de pedras preciosas, carat métrico, 1 carat métrico=2×10^{-4} kg (200 mg); massa linear das fibras têxteis e dos fios, tex(*), tex, 1 tex=10^{-6} $kg \cdot m^{-1}$; pressão sanguínea e pressão de outros fluidos corporais, milímetro de mercúrio(*), mm Hg(*), 1 mm Hg=133,322 Pa. (*) Estes nomes e símbolos não constam das listas estabelecidas pela CGPM (BIPM), mas foram adoptados pela Directiva 89/617/CEE e, por consequência, introduzidos na ordem interna portuguesa.

1.3.2 Regras para a escrita das unidades e das grandezas

Os símbolos usados para representar as grandezas são escritos em caracteres itálicos. Por exemplo, o símbolo da grandeza massa é m e não m (símbolo da unidade metro). Os símbolos

[8] O Neper (símbolo Np), mesmo estando fora do Sistema Internacional de Unidades (SI), é usado em conjunto como este. O neper é utilizado para expressar o valor de grandezas logarítmicas como o nível do campo, nível de potência, ou a pressão acústica. Os logaritmos naturais são utilizados para se obter os valores numéricos das grandezas expressas por nepers. Apesar do neper ser coerente com o SI, ainda não foi adotado como uma unidade do SI. O nome da medida foi dado em homenagem ao matemático John Napier, criador da tábua de logaritmos e do número neperiano.

[9] O bel (símbolo B) é uma escala relativa, sem dimensão (como a percentagem), que compara a intensidade de um sinal a uma referência. Sendo uma escala logarítmica, uma diferença de 1 bel corresponde a uma relação de 10 em potência. Utiliza-se generalmente seu sub-múltiplo, o decibel (dB). Uma diferença de 1 decibel corresponde a uma relação de 101/10, ou seja, aproximadamente 1,259. O bel é utilizado para exprimir o valor de grandeza logarítmicas como o nível de campo, de potência, de intensidade sonora, de pressão acústica ou de atenuação. Os logaritmos de base dez são utilizados para se obterem os valores numéricos das grandezas expressas em bel. O bel tem seu nome em homenagem ao físico Alexander Graham Bell.

para as grandezas vectoriais são escritos em itálico negro ou itálico normal com uma seta "em cima" (símbolo de vector): $\vec{v}$. Os símbolos dos valores de grandezas vectoriais são escritos em itálico normal: $v = |\vec{v}|$. Ter presente que muitas vezes é necessário especificar o sinal algébrico (+ ou -) da quantidade, e também os prefixos e os símbolos dos prefixos adoptados para formar os nomes e os símbolos dos múltiplos e submúltiplos decimais das unidades SI.

Símbolos das unidades SI

1. Os símbolos das unidades são impressos em caracteres romanos (direitos). Em geral, os símbolos das unidades são escritos em minúsculas, mas, se o nome da unidade deriva de um nome próprio, a primeira letra do símbolo é maiúscula. Exemplos: hertz, Hz; joule, J. O nome da unidade propriamente dita começa sempre por uma minúscula, salvo se se trata do primeiro nome de uma frase ou do nome "grau Celsius". Exemplos: watt, tesla.

2. Os símbolos das unidades ficam invariáveis no plural. Exemplos: 1 Pa e 10 Pa.

3. Os símbolos das unidades não são seguidos de um ponto, salvo se estão no fim de uma frase e o ponto tem a função habitual da pontuação.

Expressão algébrica dos símbolos das unidades SI

1. Quando uma unidade derivada é formada pelo produto de duas ou mais unidades, pode ser indicado com os símbolos das unidades separadas por pontos a meia altura ou por um espaço. Por exemplo: N·m ou N m.

2. Quando uma unidade derivada é formada dividindo uma unidade por outra, pode utilizar-se uma barra oblíqua (/) ou expoentes negativos. Por exemplo: m/s ou $\mathrm{m{\cdot}s^{-1}}$.

3. Nunca deve ser utilizado na mesma linha mais que uma barra oblíqua, a menos que sejam adicionados parêntesis, a fim de evitar qualquer ambiguidade. Em casos complicados devem ser utilizados expoentes negativos ou parêntesis. Por exemplo: $\mathrm{m/s^2}$ ou $\mathrm{m{\cdot}s^{-2}}$, mas não m/s/s.

Regras de utilização dos prefixos SI

1. Os símbolos dos prefixos são impressos em caracteres romanos direitos, sem espaço entre o símbolo do prefixo e o símbolo da unidade. Exemplos: kK, km, THz.

2. O conjunto formado pela junção do símbolo de um prefixo ao símbolo de uma unidade constitui um novo símbolo inseparável, que pode ser elevado a uma potência positiva ou negativa e que pode ser combinado com outros símbolos de unidades para formar símbolos de unidades compostas. Por exemplo: $1\ \mathrm{cm^3}=(10^{-2}\ \mathrm{m})^3=10^{-6}\ \mathrm{m^3}$; $1\ \mathrm{cm^{-1}}=(10^{-2}\ \mathrm{m})^{-1}=10^{2}\ \mathrm{m^{-1}}$.

3. Não são empregues prefixos compostos, ou seja, formados pela justaposição de vários prefixos. Por exemplo: 1 nm, mas não 1 mmm; 1 MΩ e não 1 kkΩ.

4. Um prefixo não pode ser empregue sem uma unidade a que se refira. Por exemplo: $10^6/\mathrm{m^3}$, mas não $\mathrm{M/m^3}$.

1.4 Aproximações e estimativas

Todas as grandezas com dimensões têm unidades. Quando fazemos uma afirmação numérica ou escrevemos equações numéricas relacionando quantidades físicas, devemos sempre incluir ou ter presente as unidades das quantidades envolvidas. Uma forma de confirmar se uma dada equação está correcta é verificar se as unidades nos dois membros são as mesmas (ou equivalentes, no sentido em que estão relacionadas por factores de conversão): se forem diferentes, alguma coisa está errada.

Embora a Física procure descrever os fenómenos naturais em termos o mais precisos possível, em muitas ocasiões é perfeitamente aceitável uma aproximação ou mesmo uma estimativa grosseira. Por exemplo, se quisermos descrever o movimento da Terra em torno do Sol, não é necessário tomar em conta as características geológicas da Terra ou a sua estrutura interna. Obtém-se uma boa representação do fenómeno fazendo a aproximação de que a Terra é uma partícula, i.e., que o seu tamanho não é importante para os efeitos em consideração. Se deslocarmos o nosso interesse para o estudo dos terramotos ou até das marés, a estrutura da Terra já é de crucial importância.

Qualquer fenómeno/problema deve ser examinado com cuidado para se poder determinar correctamente que aproximações são aceitáveis, de forma a simplificar o seu tratamento, sem, contudo, por em causa a correcta descrição do fenómeno. Assim, quando estudamos um fenómeno devemos perguntar sempre: que características deste fenómeno ou evento podem ser negligenciadas de forma a tomar os cálculos ou a análise do problema mais simples? Cada situação requer a sua análise. Por exemplo, podemos desprezar o atrito numa situação, mas incluir os efeitos da gravidade. Noutro problema o atrito pode ser importante e os efeitos da gravidade negligenciados. Antes de começar um cálculo longo ou complexo, é muitas vezes vantajoso obter uma estimativa do resultado fazendo aproximações tais como 3,7+5,4≅10, $\pi \cong 3$, $\sqrt{2} \cong 1,5$. É, também, importante ir verificando se um cálculo vai no bom caminho, fazendo aproximações numéricas e calculando coeficientes. Combinando potências de 10, é possível verificar se a resposta será razoável ou não. É muito útil desenvolver a capacidade de fazer estimativas. Se, por exemplo, num problema para determinar a dimensão de um átomo o resultado é 2×10^{-3} m, não vale a pena tentar melhorar a *exactidão* do cálculo até que se corrija o erro grosseiro que está na origem deste valor incorrecto.

1.4.1 Exercícios

Os exemplos que se seguem servem para treinar a capacidade de fazer estimativas. Para fazer os cálculos aproximados pedidos, apenas precisa de usar papel e lápis, e a informação disponível

em resultado da sua vivência como cidadão:

- Qual é o número típico de carros envolvidos numa fila de trânsito com dois quilómetros, numa via de três faixas? ($\sim$1500)

- Quantas bolas de golfe podem ser colocadas num quarto típico? (7×10^5)

- Quantos barris de petróleo são necessários para satisfazer as necessidades anuais em gasolina automóvel da população portuguesa? (1×10^8 barris, 1 barril corresponde a 120 litros.)

- Quantos euros custaria esse petróleo hoje?

- Se cada português adulto ganhar por mês 750 euros, pagar 20% deste valor em impostos e 250 euros de renda de casa, e gastar 100 euros por semana em comida, quanto arrecada o Ministério das Finanças em cada ano civil?

- Se 15% do valor arrecadado for destinado ao Ministério da Saúde, qual é o orçamento deste Ministério?

- Seguindo o mesmo raciocínio, estime o orçamento do Ministério da Saúde espanhol?

1.5 Bibliografia

[1] *General Physics with Bioscience Essays*, capítulo 1, J. B. Marion and W. F. Hornyak, John Wiley & Sons, NY, 1985.

[2] *O Sistema Internacional de Unidades* (SI), http://www.ipq.pt/museu/sistema/index.htm.

[3] *Cosmos*, Carl Sagan, Gradiva, 1980.

[4] *Um Mundo Infestado de Demónios*, Carl Sagan, Gradiva 1997.