

UM MAPA CONCEITUAL SOBRE PARTÍCULAS ELEMENTARES¹⁾

MARCO ANTONIO MOREIRA

Instituto de Física - UFRGS

Caixa Postal 15051, 91500 Porto Alegre, RS

INTRODUÇÃO

O ensino de Física sofre, de tempos em tempos, influências ou pressões muito bem definidas provenientes de diferentes fontes. Às vezes, a influência vem de correntes psicológicas como é o caso do comportamentalismo que dominou toda a psicologia educacional até bem pouco tempo e serviu de fundamentação à chamada tecnologia educacional. É também o caso do cognitivismo que serve de apoio aos enfoques construtivistas tão usados atualmente, tanto na pesquisa como na instrução. A pressão pode também vir de parte da indústria e da tecnologia como parece ser a situação atual relativamente ao microcomputador. No Brasil, ainda não se sente muito a pressão para que o microcomputador seja introduzido no ensino de ciências, mas nos Estados Unidos, por exemplo, ela é enorme e acabará por influenciar grandemente o ensino de ciências, particularmente na área de ensino de laboratório. O ensino de Física, naturalmente, sofrerá também esse tipo de pressão e influência.

Bem ou mal, essas fontes de pressão são agentes de mudança e acabam contribuindo para o desenvolvimento do ensino da Física, porém, são, de certa forma, agentes externos. Há, no entanto, um tipo de agente de mudança que tem um caráter mais interno: os físicos. De vez em quando, os físicos acham que o ensino da Física deve ser reformado e propõem mu

1) Parcialmente apoiado pelo CNPq

danças que, às vezes, acabam por alterar profundamente esse ensino. O PSSC (1960) pode ser tomado como exemplo. Embora se possa argumentar que sua origem tenha sido bastante política, esse projeto, enquanto currículo de Física para a escola secundária norte-americana, refletia essencialmente a visão dos físicos norte-americanos sobre que tipo de Física deveria ser ensinada e como deveria ser ensinada. Hoje em dia, pouco se usa o PSSC na escola secundária, inclusive nos Estados Unidos, mas sua influência no ensino da Física, desde o início dos anos sessenta, foi enorme. Não seria exagero dizer que todo o movimento internacional voltado para o ensino da Física existente hoje com tanto vigor, inclusive com intensa atividade de pesquisa, tem suas origens no PSSC. É claro que isso é história, mas ao que parece uma nova onda de influência dos físicos sobre o ensino de Física está a caminho: principalmente nos Estados Unidos, há hoje uma grande pressão para que a Física Contemporânea seja introduzida no currículo da escola secundária e dos cursos introdutórios de Física Geral na universidade.

Não se trata somente da chamada Física Moderna, que na verdade não tem muito de moderna, pois é a Física do fim do século passado e início deste. Não se trata apenas de ensinar o efeito fotoelétrico, o princípio da incerteza, o átomo de Bohr e tópicos similares na escola secundária. Essa é uma reivindicação antiga de professores e alunos a qual até hoje não foi atendida, embora todos bons livros de Física para a escola secundária e para o ciclo básico da universidade dediquem alguns capítulos, geralmente os últimos, a esses assuntos, ou seja, à "Física Moderna". As razões para que o ensino da Física na escola secundária até hoje continue enfatizando principalmente a Mecânica e nunca chegando à Física Moderna são muitas, desde o despreparo do professor, passando pela falta de tempo, até o argumento de que uma boa base em Mecânica Newtoniana é muito mais importante -- enquanto aprendizagem de Física -- do que tópicos mais recentes. Provavelmente, isso é verdade também nos Estados Unidos on-

de hoje surge o clamor pela incorporação de tópicos da Física Contemporânea no currículo. Quer dizer, o problema da incorporação da Física Moderna no currículo parece ter sido superado sem ter sido resolvido. A questão é, sem dúvida, difícil e não se pretende aqui apontar soluções, apenas destacar a tendência atual.

A pressão é para que alguma coisa seja retirada de tópicos clássicos como Mecânica Newtoniana, Eletromagnetismo, Termodinâmica e Ótica, a fim de dar lugar a temas de Física Contemporânea, e para que assuntos clássicos sejam tratados sob uma perspectiva mais atual, com modelos atuais e interpretações contemporâneas. Esse tipo de enfoque far-se-á sentir muito em breve nos novos livros de textos, ou novas versões de textos já consagrados, que estão em elaboração nos Estados Unidos e que, como geralmente ocorre, acabarão chegando aqui. Em nível de escola secundária já existe lá um texto que está tendo muita aceitação entre professores e alunos e adquirindo crescente popularidade. A tendência é que, em breve, esse texto se torne um sucesso de vendas e, provavelmente, venha a ser traduzido para o espanhol e talvez para o português. Na verdade, trata-se de um pacote completo -- Conceptual Physics, de Paul Hewitt, publicado pela Addison Wesley, 1987 -- incluindo texto básico, manual para o professor, manuais de laboratório para o aluno e para o professor, livros de testes e até vídeo-teipes. No texto básico observa-se pouca matemática e muita ênfase em conceitos e em interpretações microscópicas vindas principalmente da Teoria do Estado Sólido. Tópicos de Física Moderna permeiam o texto, ao invés de estarem confinados em capítulos finais, e incluem assuntos contemporâneos como buracos negros, lasers e estruturas cristalinas. Há dois capítulos de Relatividade Especial enquanto que a Cinemática, tão enfatizada em outros textos, está reduzida a um capítulo de dez páginas (em um total de 650). É claro que há muita Física Clássica, mas a abordagem é moderna e contemporânea. Independentemente de ser ou não ser um bom material

instrucional o pacote de Hewitt reflete uma tendência atual nos Estados Unidos que resulta de uma pressão vinda particularmente dos físicos. Mas as conseqüências dessa pressão não ficam aí. Por exemplo, recentemente foi publicada na revista The Physics Teacher (TPT), em dezembro de 1988, uma tabela, ou quadro, em forma de um grande cartaz, sobre partículas elementares e interações fundamentais que é produto do trabalho de um comitê de dez físicos e professores de Física apoiado pela Associação Americana de Professores de Física e pela "National Science Foundation" e resulta de uma conferência sobre o ensino da Física Moderna realizada no Fermilab em 1986. O objetivo central desse comitê era o de "produzir uma tabela, em formato de cartaz, que refletisse os principais resultados obtidos nas últimas três décadas pela pesquisa em Física de Altas Energias e que fosse adequada para o uso em cursos introdutórios de Física tanto na escola secundária como na universidade." (op. cit., p.556).

A tabela é, sem dúvida, um produto de alta qualidade, coerente com o objetivo para o qual foi elaborada e, provavelmente, contribuirá para que os alunos tenham uma visão contemporânea sobre a estrutura da matéria. Entretanto, face ao grande volume de informações compactadas nessa tabela, talvez tenha ficado um pouco densa demais. Em razão disso, creio que dois mapas conceituais (Moreira e Buchweitz, 1987), um sobre partículas elementares e outro sobre interações fundamentais, podem se constituir em alternativas instrucionais vantajosas em relação à tabela por diluírem um pouco a informação e, sobretudo, por terem uma organização conceitual hierárquica mais bem definida do que a que se pode chegar através de uma tabela. A hipótese que subjaz à suposição de que a organização conceitual hierárquica de um mapa conceitual tem vantagens didáticas é a de que a estruturação cognitiva de um indivíduo em uma certa área de conhecimento tende para uma organização hierárquica semelhante a de um mapa conceitual. Quer dizer, o mapa conceitual funcionaria então como um facilitador da organização cognitiva.

Neste trabalho é apresentado e descrito apenas o mapa conceitual referente a partículas elementares. Em outro trabalho, companheiro deste, é mostrado e explicado o mapa conceitual relativo a interações fundamentais da natureza (Moureira, 1990). Ambos são inspirados na tabela mencionada e propostos como alternativos a ela do ponto de vista didático. Analogamente, parte das explicações desses mapas estão baseadas na descrição dessa tabela.

UM MAPA CONCEITUAL

Na figura 1 é apresentado um mapa conceitual sobre partículas elementares. Este mapa está construído de acordo com o chamado "modelo padrão" das partículas elementares. No topo do mapa está o próprio conceito de partícula elementar como sendo o conceito mais abrangente dessa área de conhecimento. Pode-se distinguir entre duas grandes categorias de partículas elementares: bósons e férmions²⁾. Férmions são partículas elementares que têm spin $\hbar/2$, $3/2\hbar$, $5/2\hbar$, ... e obedecem ao Princípio da Exclusão de Pauli. Spin é o momento angular intrínseco das partículas elementares, o qual é quantizado e medido em unidades de \hbar onde $\hbar = h/2\pi = 1,05 \cdot 10^{-34}$ Js e h é a constante de Plank. As partículas até hoje conhecidas têm spin igual a um número ímpar de meias unidades \hbar (férmions) ou igual a um número inteiro de unidades \hbar (bósons). Na prática, fala-se apenas de partículas com spin $1/2$, $3/2$, $5/2$, $7/2$, ... ou spin 0 , 1 , 2 , 3 , ... O Princípio da Exclusão de Pauli diz, nesse caso, que dois férmions não podem ocupar o mesmo estado ao mesmo tempo. O fato de que os férmions obedecem a esse princípio e de que os bósons não o obedecem é a principal diferença entre essas duas grandes categorias de partículas.

2) A classificação de bósons e férmions não se refere apenas às partículas elementares, mas também a qualquer partícula que obedece as leis da Mecânica Quântica como por exemplo, a partícula α .

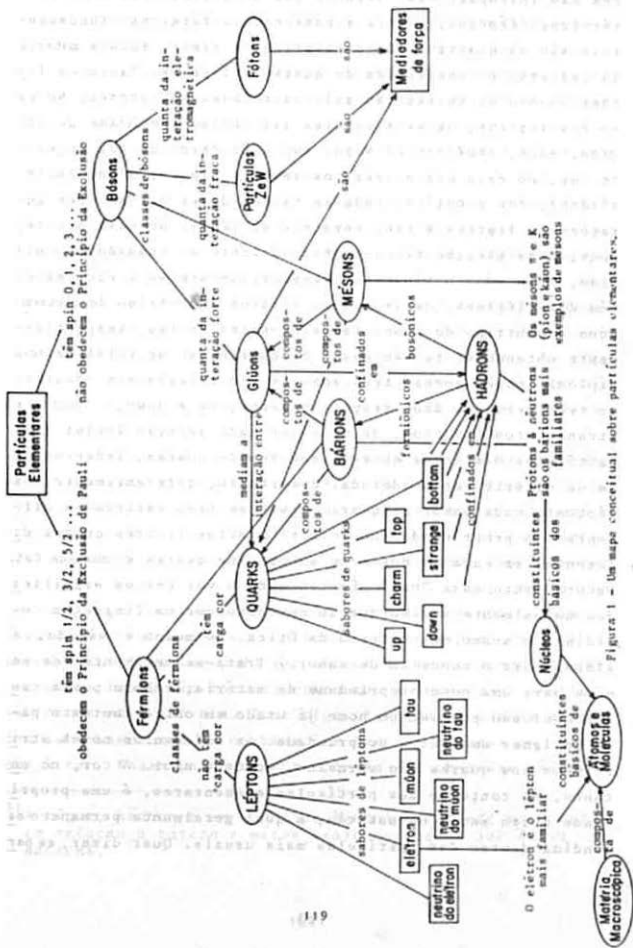


Figura 1 - Um mapa conceitual sobre partículas elementares.

A partir da distinção inicial entre férmions e bósons, pode-se prosseguir com categorizações diferentes, porém não incompatíveis. Segundo uma delas, há três classes de férmions: *léptons*, *quarks* e *bárions*. Os férmions fundamentais são os quarks e léptons; aliás, a rigor, toda a matéria do universo é constituída de quarks e léptons. Tanto os léptons quanto os quarks têm seis variedades ou sabores. No caso dos léptons, os seis sabores são *elêtron*, *neutrino do elêtron*, *múon*, *neutrino do múon*, *tau* e *neutrino do tau* enquanto que, no caso dos quarks, os sabores são *up*, *down*, *charm*, *strange*, *top* e *bottom*. Pode-se também dizer que há três gerações de léptons e três gerações de quarks. No caso dos léptons, cada geração têm um sabor distinto -- chamado tipo elêtron, tipo múon e tipo tau, respectivamente -- e cada sabor têm dois léptons, quais sejam, elêtron e neutrino do elêtron, múon e neutrino do múon, tau e neutrino do tau, respectivamente obtendo-se também nessa classificação um total de seis *léptons*, porém apenas três sabores. Em relação aos quarks, as três gerações são, respectivamente, *up* e *down*, *charm* e *strange*, *top* e *bottom*, de modo que cada geração inclui duas partículas distintas ou seis sabores de quarks, independente da classificação adotada. Entretanto, diferentemente dos léptons, cada sabor de quark existe em três variedades diferentes. A propriedade que permite distinguir três quarks diferentes em cada um dos seis sabores de quarks é chamada *cor*. Naturalmente, essa "cor" não têm nada a ver com os significados normalmente atribuídos ao conceito cor na linguagem cotidiana e mesmo no contexto da Ótica. (O mesmo é válido, é claro, para o conceito de sabor.) Trata-se meramente de um nome para uma nova propriedade da matéria, embora possa causar confusão por ser um nome já usado em outro contexto para designar uma outra propriedade. As diferentes cores atribuíveis aos quarks são vermelho, verde e azul. A cor, no entanto, no contexto das partículas elementares, é uma propriedade muito sutil da matéria, a qual geralmente permanece escondida dentro das partículas mais usuais. Quer dizer, as par

tículas normalmente encontradas na natureza não têm cor, pois consistem de vários quarks de modo que as três cores são misturadas em iguais proporções resultando uma partícula sem cor. No caso do próton, por exemplo, os três quarks que o compõem são um vermelho, um verde e um azul de modo que o próton em si não tem cor. Apesar disso, a cor tem um papel muito importante na teoria das forças que mantêm os quarks juntos para formarem as partículas que estão aqui sendo chamadas de usuais, como o próton. Acredita-se que a força atrativa entre os quarks seja extremamente forte e se lhe dá o nome de *força cor*, i.e., a força que atua entre duas partículas que têm cor. Portanto, a fonte dessa força é a cor no mesmo sentido que a massa é a fonte da força gravitacional e a carga elétrica é a fonte da força eletromagnética. (Ohanian, 1985, p. C-15). Como cada um dos seis sabores de quarks pode ter três cores, chega-se à conclusão que segundo o modelo atual, devem existir *dezoito quarks* distintos. Na verdade, ainda não há grande evidência experimental de partículas contendo o quark top, mas sua existência está prevista na teoria.

Assim como, o fator básico para distinguir entre *férmions* e *bósons* é o fato de obedecer ou não o Princípio da Exclusão de Pauli, a base para a distinção entre *léptons* e *quarks* (ambas são *férmions*) é ter ou não ter cor (ou carga cor) e, conseqüentemente, experimentar ou não interações fortes. Os *léptons* não têm cor, o que significa que não experimentam a interação forte e, portanto, podem ser observados isoladamente. O elétron, por exemplo, que é o *lépton* mais familiar pode ser detectado isoladamente. Quarks, por outro lado, têm cor, experimentam a interação forte e são *confinados* por ela. Isso significa que os quarks só podem ser observados em combinações que são neutras em relação à cor. Essas partículas compostas são chamadas *hádrons*³⁾

³⁾ A rigor, *hádron* é um conceito hierarquicamente mais alto em relação a *bárion* e *méson* visto que estes são tipos de *hádrons*.

e experimentam apenas interações fortes residuais. Hádr̄ons podem ser fermīônicos quando formados por quarks e, nesse caso, são chamados de b̄arīons. Pr̄tons e n̄utrons são os b̄arīons mais familiares. Hádr̄ons também podem ser bos̄ônicos quando formados por um quark e um antiquark⁴⁾, sendo chamados de m̄s̄ons. (TPT, 1988, p.559).

M̄s̄ons constituem uma de duas classes de b̄os̄ons; a outra é a classe dos mediadores de força. Os b̄os̄ons fundamentais são os mediadores ("force carriers") das interações fundamentais observadas na natureza: o f̄oton é o quantum do campo eletromagnético ou o mediador das interações eletromagnéticas; os b̄os̄ons W e Z fazem o mesmo papel em relação às interações fracas; os mediadores das interações fortes, por sua vez, são chamados de gl̄uons⁵⁾. Diferentemente dos f̄tons que não têm carga elétrica, os gl̄uons têm carga cor, ou simplesmente cor e, portanto, são partículas confinadas. Ou seja, gl̄uons, assim como quarks, não podem ser observados iso-

4) Para cada fermion que existe na natureza existe, também, um outro fermion que é sua antipartícula. A antipartícula tem massa idêntica a da partícula correspondente, porém tem valor oposto para todas as "cargas" (cor, sabor e elétrica). Portanto, considerando os antil̄eptons e antiquarks, o verdadeiro número de l̄eptons é 12 ao invés de 6, e o de quarks é 36 ao invés de 18. De maneira similar, para cada b̄arion formado por três quarks existe um antibarion formado pelos três correspondentes antiquarks. B̄os̄ons também têm antipartículas de mesma massa e carga oposta. No caso especial de b̄os̄ons com valor zero para todas as cargas, a partícula e a antipartícula são idênticas. Isso é verdadeiro para o f̄oton e o b̄oson Z. Analogamente, não há uma distinção real entre gl̄uons e antigluons; para cada um dos oito gl̄uons existe algum outro entre os oito que é sua antipartícula. (TPT, 1988, p.560).

5) Obviamente, por analogia, deve haver um mediador da interação gravitacional -- o gr̄aviton. Essa partícula, no entanto, segundo a teoria atual deveria ser estável, ter massa zero, carga elétrica nula e deslocar-se com a velocidade da luz, porém interagiria muito fracamente com a matéria e, portanto, seria muito difícil de ser detectada. Até o momento não existe evidência experimental clara acerca da existência do gr̄aviton.

ladamente. Há oito tipos de glúons, mas eles existem apenas no interior de hádrons compostos onde fornecem a "cola" (interação forte) que mantém os componentes (quarks) juntos. A maioria dos hádrons são formados de quarks e glúons. Em princípio, o modelo atual tem lugar para partículas formadas apenas por glúons, porém até agora não se tem evidência experimental convincente acerca de tais partículas. (op. cit. p. 360).

As várias partículas que constam no mapa conceitual da Figura 1 e mencionadas nos parágrafos precedentes podem também ser classificadas em fundamentais (quarks, léptons, glúons, fótons, partículas W e partículas Z) e compostos (bárions e mésons). Podem também ser enquadradas em três grandes categorias não mutuamente exclusivas: partículas que podem ser isoladas (léptons, bárions e mésons), partículas confinadas (quarks e glúons) das quais os hádrons (bárions e mésons) são formados e partículas mediadoras de força (fótons, glúons, partículas W e Z). É possível também classificar o grande número de partículas (da ordem de 300) até hoje detectadas em três grandes grupos: léptons, bárions e mésons, sendo que os dois últimos grupos podem ser reagrupados e designados coletivamente por hádrons. Esse tipo de classificação poderia ser também sugerido no mapa conceitual proposto, por exemplo, através de linhas tracejadas ligando esses conceitos diretamente ao conceito de partícula elementar. Todas essas classificações não são incompatíveis e buscam apenas colocar uma certa ordem no assunto sob diferentes pontos de vista. Isso significa que o mapa conceitual sugerido não é único. Cada uma dessas classificações implica um mapa conceitual diferente. Além disso, mesmo que fosse possível traçar um único mapa conceitual para partículas elementares, ele não seria definitivo pois o conhecimento humano nessa área ainda está sendo construído e certamente sofrerá modificações. Mapas conceituais sempre refletem o estado atual de um corpo de conhecimento, seja porque esse conhecimento está sendo construído na mente de quem aprende seja por-

que ele próprio está em construção.

Observe-se, finalmente, que na parte inferior da Figura 1 aparecem exemplos de partículas elementares mais familiares, bem como uma tentativa de mostrar a relação existente entre as partículas elementares destacadas no mapa e a matéria macroscópica, ou seja, a matéria tal como a percebemos. "Lendo" o mapa conceitual de baixo para cima essa relação fica mais clara: a matéria macroscópica é formada de moléculas e átomos, os quais têm como estrutura básica elétrons e núcleos; estes, por sua vez, estão estruturados basicamente em prótons e nêutrons. Elétrons são léptons, enquanto prótons e nêutrons são bárions formados por quarks e glúons (que mediam a interação entre os quarks). Aliás, por essa razão quarks e léptons são, às vezes, referidos como partículas fundamentais do universo.

CONCLUSÃO

Esse trabalho tem por objetivo oferecer uma alternativa instrucional a uma tabela sobre partículas elementares recentemente publicada na revista The Physics Teacher. Essa alternativa é um diagrama hierárquico, evidenciando conceitos e relações conceituais, conhecido como mapa conceitual. Mapas conceituais, no entanto, não são auto-suficientes, é preciso explicá-los e isso foi feito na seção anterior. O mapa e a explicação constituem o núcleo do trabalho, coerentemente com o objetivo declarado; mas além desse objetivo explícito, o trabalho tem outras intenções.

Por exemplo, é claro o intento de chamar atenção para uma tendência atual do ensino da Física nos Estados Unidos: provavelmente, em função de uma acentuada e insistente pressão de físicos e professores de Física, o currículo do segundo grau e do ciclo básico da universidade será "modernizado" no sentido de incluir mais Física Contemporânea e de dar uma visão mais moderna à Física, apresentando-a como uma ciência viva, dinâmica, na qual novos conhecimentos es-

tão constantemente sendo produzidos. (Para essa modernização será necessário suprimir alguns conteúdos tradicionalmente ensinados no segundo grau e nas disciplinas de Física Geral e ensinar sob uma ótica contemporânea outros desses conteúdos tradicionais).

O tópico 'partículas elementares' encaixa-se muito bem nessa perspectiva, pois é um assunto contemporâneo onde a construção do conhecimento em Física se manifesta em sua plenitude. Além disso, ilustra muito bem a questão da modelização na Física. Investigar a natureza da matéria tem sido uma obsessão para os físicos que, obstinadamente, buscam novos modelos para a natureza íntima da matéria. Nessa busca, a partir de modelos e de técnicas experimentais cada vez mais refinadas, foram detectando um número sempre crescente de novas partículas elementares. Cada partícula detectada era sempre motivo de excitação, mas, aos poucos, o número cresceu tanto que o que se tinha era quase um catálogo de partículas elementares. Mas a Física não é uma ciência catalográfica, classificatória; o que os físicos buscam não é organizar um catálogo de partículas. Eles procuram novos modelos que permitam identificar regularidades, talvez uma estrutura, na miríade de partículas elementares já detectadas. Em um novo modelo, muitas dessas partículas podem ser apenas instâncias de outras mais fundamentais. O modelo padrão, no qual estão baseados o mapa conceitual apresentado neste trabalho e a correspondente explicação desse mapa, é o modelo atual. Quer dizer, à luz desse modelo, há regularidades entre as partículas; é possível classificá-las, agrupá-las e fazer previsões acerca de partículas que deveriam ter sido detectadas e ainda não foram. Esse modelo, no entanto, não é definitivo. Ele pode vir a ser refinado e tornar-se uma teoria mais abrangente, pode ser refutado, substituído por outro, reformulado. A Física está cheia de situações como essa. Modelos são inerentes à própria essência da Física, assim como também o é a submissão dos modelos ao crivo da experimentação. O ponto importante aqui é a natureza dinâmica da cons

trução do conhecimento em Física. Do ponto de vista didático, a questão importante por detrás desta discussão não é se o currículo deve ou não deve incluir partículas elementares, mas sim que o currículo não deve apresentar a Física como uma ciência catalográfica, ou como uma ciência com modelos acabados, definitivos, infalíveis. Partículas elementares é um assunto apropriado para ilustrar esse ponto, mas há outros, muitos outros. Cabe ao professor, ao ensinar qualquer assunto, não transmitir a idéia de que Física é uma coisa definitiva, uma espécie de manual ou catálogo de respostas corretas para o que ocorre na natureza.

Outro aspecto deste trabalho com implicações didáticas é a questão da contextualidade dos significados. Conceitos são designados, geralmente, por palavras, porém a palavra que designa um conceito não é o conceito, é apenas um rótulo. O que identifica o conceito são os significados atribuídos à palavra que o simboliza. Mas significados são contextuais: dependendo do contexto a mesma palavra (o mesmo rótulo) pode ter significados completamente diferentes. É o caso da palavra "cor". Na vida cotidiana, cor significa vermelho, amarelo, azul, etc.; além disso, determinada cor pode identificar preferência clubística ou política; pode também identificar uma certa raça. Enfim, são muitos os significados associados a cor, no contexto de nosso dia-a-dia. Em Óptica, determinada cor significa uma radiação do espectro eletromagnético com frequência bem definida. Por outro lado, no contexto das partículas elementares, cor se refere a uma propriedade de determinadas partículas que é a fonte de um tipo de interação entre elas, conhecida como interação forte. Cor nesse contexto não tem nada a ver com o conceito de cor no contexto da vida diária. Mesmo que se fale em quarks vermelhos ou em quarks verdes, isso não significa uma 'minúscula bolinha vermelha ou verde'. É preciso entender que o que está ocorrendo é o uso da mesma palavra, do mesmo rótulo, para designar um outro conceito. Isto corrobora o que foi dito antes: o que define o conceito não é a palavra que o sim

boliza mas os significados atribuídos a ela. É claro que seria mais fácil para os alunos, no sentido de evitar confusões, se cada palavra identificasse um único conceito. Mas essa regra não existe, a Física está cheia de exemplos como esse da cor. Neste trabalho mesmo pode-se citar o uso da palavra "sabor" com significado completamente distinto daquele usado na vida cotidiana. Mas, novamente, cabe frisar que não é preciso falar em partículas elementares para explorar, no ensino, essa questão da contextualidade dos significados. Um exemplo muito conhecido é o do conceito de trabalho. O aluno deve ficar, pelo menos, intrigado ao encontrar valor zero para o trabalho realizado por uma força perpendicular à direção do deslocamento. Quer dizer, seu conceito de trabalho é diferente daquele que lhe estão ensinando. É tudo, no entanto, uma questão de contexto e cabe ao professor esclarecer isso, facilitando o que Ausubel (1980) chama de reconciliação integrativa. Compete ao professor criar condições para que o aluno entenda que a mesma palavra (trabalho, no caso) no contexto da Física tem outros significados. É claro que, muitas vezes, significados são compartilhados. Isto é, um determinado conceito pode ter os mesmos significados na Física, em outras áreas de conhecimento e no cotidiano. Pode também ocorrer que alguns significados sejam compartilhados e outros não. A situação é análoga a significados compartilhados entre pessoas e significados idiossincráticos. A palavra 'casa', por exemplo, identifica um conceito que tem, pelo menos, um significado compartilhado por muitos indivíduos, é o significado de casa como abrigo; mas, para determinadas pessoas, casa tem a conotação de lar que não é compartilhada por outras, para as quais casa significa opressão e vice-versa. Do ponto de vista didático é, então, extremamente importante que o professor tenha sempre em mente que os significados são contextuais e que ajude os alunos a entender isso.

Finalmente, este trabalho teve também a finalidade de explorar um recurso instrucional: o mapa conceitual. Co-

mo já foi destacado, mapas conceituais são apenas diagramas conceituais hierárquicos. Do ponto de vista didático, servem para destacar conceitos e relações conceituais em uma determinada área de conhecimento, tal como foi feito no mapa conceitual apresentado na Figura 1. Aparentemente simples, esses mapas revelam muito sobre o entendimento tido por aquele que faz o mapa em relação a determinado assunto, pois, ao enfatizarem conceitos e relações entre conceitos, forçam o indivíduo a identificar os conceitos-chave, hierarquizá-los e explicitar as relações entre eles. (Tarefa nada fácil para alunos, e mesmo para professores.) Isso quer dizer que o mapeamento conceitual pode também ser usado como técnica de avaliação da aprendizagem. Mas é uma técnica não convencional pois, ao invés de servir para atribuir uma nota ao aluno, é útil para obter informações sobre sua organização cognitiva em um determinado corpo de conhecimento. Quer dizer, enquanto a avaliação tradicional geralmente está preocupada em quantificar o conhecimento do aluno, o mapeamento conceitual, como técnica de avaliação, procura informações qualitativas sobre esse conhecimento.

O mapa conceitual oferece, então, uma nova perspectiva para o ensino e para a avaliação da aprendizagem. Essa perspectiva, por sua vez, é coerente com o enfoque construtivista que atualmente vem se impondo no processo instrucional, após décadas de influência comportamentalista: o conhecimento humano é construído, tanto pelo físico, no caso da Física, como pelo ser que aprende. Obviamente essa construção não é definitiva, não está acabada, muda à medida que novos conhecimentos vão sendo produzidos. Analogamente, mapas conceituais não são definitivos. Também se modificam à medida que novos conhecimentos são produzidos e à medida que quem faz o mapa aprende novos conceitos e percebe novas relações. Do ponto de vista da disciplina, mapa conceitual é uma espécie de 'estado da arte conceitual'; sob o ângulo da aprendizagem, é como se fosse uma 'fotografia', um 'instantâneo', de como está ocorrendo a aprendizagem, conceitualmente. As-

sim como o modelo padrão para as partículas elementares, apresentado neste trabalho, oferece uma visão contemporânea da natureza da matéria, o uso do mapeamento conceitual implica em uma visão moderna, construtivista, do processo ensino-aprendizagem.

AGRADECIMENTO

Agradeço à Professora Eliane Angela Veit pela revisão crítica deste trabalho.

REFERÊNCIAS & BIBLIOGRAFIA

- Physical Science Study Committee (1960). *PSSC Physics*. 1st ed. Lexington, MA: D.C. Heath and Company.
- Hewitt, P.G. (1987). *Conceptual physics*. Reading, MA: Addison-Wesley Publishing Company.
- Fundamental Particles and Interactions Chart Committee (1988). Fundamental particles and interactions - a wall chart of modern physics. *The Physics Teacher*, 26(9):556-565.
- Beiser, A. (1982). *Physics*. 3rd ed. Menlo Park, CA: The Benjamin/Cummings Publishing Company.
- Schwarzschild, B. (1989). Physics Nobel Prize to Lederman, Schwartz and Steinberger. *Physics Today*, 42(1):17-20.
- Ohanian, H.C. (1985). *Physics*. New York, NY: W.W. Norton & Company.
- Moreira, M.A. e Buchweitz, B. (1987). *Mapas conceituais - instrumentos didáticos, de avaliação e de análise de currículo*. São Paulo, Editora Moraes. 83 p.
- Moreira, M.A. (1990). Um mapa conceitual para interações fundamentais. Aceito para publicação em *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, 1990.