

A TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS DE VERGNAUD E O ENSINO DE RADIOATIVIDADE

Vergnaud's conceptual fields theory and radioactivity teaching

Guilherme Luiz Scheffler [guilhermels.ev@gmail.com]

José Cláudio Del Pino [delpinojc@yahoo.com.br]

Área de Educação Química – UFRGS

Av. Bento Gonçalves, 9500 – Sala D-114 – Campus do Vale – 91501-970 – Porto Alegre – RS

RESUMO

Este trabalho consiste na utilização da teoria dos campos conceituais de Vergnaud como referencial teórico para as aulas de química. O principal objetivo foi avaliar as contribuições do uso desta teoria no ensino de radioatividade. Para isso inicialmente foi elaborado um mapa conceitual para elencar os conceitos a serem abordados, em seguida, esses conceitos foram distribuídos em uma sequência didática. Em três momentos a evolução conceitual dos estudantes foi analisada. O trabalho foi realizado em uma turma de um curso técnico em radiologia, na disciplina de química aplicada. Esta disciplina está elencada no segundo semestre do curso e é considerada essencial para aplicação dos conceitos químicos nas disciplinas técnicas e posteriores do curso. Com o uso deste referencial foi possível identificar possíveis invariantes operatórios e traçar a evolução conceitual de alguns alunos confirmando as proposições de mudança de perfil conceitual.

Palavras-chave: radioatividade, química nuclear, Teoria dos Campos Conceituais, Vergnaud, evolução conceitual.

Abstract

This study deals with the use of Vergnaud's conceptual fields theory as a framework in chemistry classes. The main purpose was to evaluate the contributions of this theory in the radioactivity teaching. First of all, a conceptual map was created pointing out the main concepts to be approached. Sequentially, the main concepts were distributed in a didactic order. The student's conceptual evolution was analyzed in three moments. This research was effectuated in a group of students coursing a technician level class in the radiology area, in the applied chemistry subject. This subject belongs to the second semester of the technician course and is considered essential to put in practice chemistry concepts in the next technical disciplines. The results showed the feasibility to identify operational invariants using this framework and to draw a conceptual evolution for some students corroborating with the conceptual profile change model.

Keywords: radioactivity, nuclear chemistry, Vergnaud's conceptual fields theory, Vergnaud, conceptual evolution.

Introdução

O estudo dos processos cognitivos relacionados à aprendizagem representa uma questão pedagógica essencial, sendo o foco de diversas teorias já desenvolvidas no campo da didática. Dentre elas é possível relacionar a teoria dos campos conceituais de Gérard Vergnaud, uma das propostas dessa teoria é a reflexão das condições^[1] de aprendizagem conceitual, de forma que essa se torne mais acessível e facilite à compreensão do aluno. A construção de conceitos científicos por

^[1]Estudo dos comportamentos evocados no sujeito quando deparado a diferentes situações de forma a elucidar as conceitualizações construídas por ele.

parte do aluno representa um obstáculo epistemológico e didático, uma vez que esses conceitos possuem significados diferentes para o aluno e dentro de contextos formais durante a evolução histórica.

Entre os obstáculos mais importantes a serem considerados na aprendizagem destaca-se as concepções alternativas^[2]. Durante os anos 70, inúmeras pesquisas foram realizadas na área de ensino com a principal finalidade de mapear as ideias dos alunos em relação a diversos conteúdos. Observando que essas ideias não eram concordantes com os conceitos científicos, denominaram-nas de concepções alternativas^[3]. Após esse mapeamento, nos anos 80, as pesquisas se voltam para a transformação ou eliminação destas concepções, a fim de torná-las coerentes com as concepções científicas. Com isso surgem discussões sobre os processos de mudança conceitual^[4] e identificação das condições de ensino e aprendizagem que fazem com que o indivíduo substitua de forma voluntária as concepções alternativas por concepções científicas^[5].

Em uma etapa seguinte algumas análises críticas das teorias construtivistas surgiram principalmente pelas restrições desta proposta. Mortimer (2000) discute que as estratégias de mudança conceitual são pouco eficientes, uma vez que os alunos não abandonam suas concepções anteriores quando constroem novas. Ele sugere que ocorre uma mudança de perfil conceitual^[6]. Nesta mesma linha Solomon (1994) afirma que os conhecimentos científicos e cotidianos precisam coexistir na mente dos alunos. Solomon também argumenta que o construtivismo não explica adequadamente a aprendizagem de conceitos totalmente novos para o indivíduo. Cachapuz et al. (2000) criticam a ênfase excessiva da aprendizagem de conceitos científicos na mudança conceitual e afirma que essa mudança desvaloriza algumas finalidades educacionais e culturalmente relevantes. Moreira & Greca (2003) afirmam que considerando a teoria de Ausubel, os significados internalizados não substituem os conceitos subsunçores existentes, mas sim são incorporados a eles modificando-os. De forma adicional Matthews (2000) também critica o discurso construtivista que tem a finalidade apenas de afirmar “o conhecimento não pode ser transmitido”, além disso, Laburú & Carvalho (2001) também criticam que o aprendiz “deve alcançar o conhecimento de maneira independente, chegando à conclusão sempre e exclusivamente por si próprio”. Outro argumento indicado por Mortimer (2000) e Gil Pérez et al. (1999) referem-se à desconsideração de aspectos afetivos na aprendizagem, pois com as estratégias de conflito cognitivo geralmente gera-se insegurança, inibição e rejeição entre os alunos.

Estas concepções representam um problema^[7] para educadores, estudantes e pesquisadores da área de ensino de ciências com sérias implicações no currículo. A fonte destas concepções alternativas já está descrita extensivamente na literatura e uma classificação interessante (Committee on Undergraduate Science Education, 1997) é apresentada pela categorização em cinco grupos: noções pré-concebidas, crenças não-científicas, desentendimento conceitual, desentendimento vernáculo e os desentendimentos factuais. Constituem ainda fontes de concepções

^[2]Concepções diferentes das científicas e adquiridas antes da aprendizagem formal da ciência, estas são construídas pelos sujeitos e são resistentes a mudança (Osborne & Wittrock, 1985).

^[3]Também denominadas de concepções ingênuas, intuitivas, espontâneas ou de senso comum.

^[4]Entenda-se por mudança conceitual a substituição das concepções alternativas por concepções científicas.

^[5]Para exemplificar cita-se: Posner et al. (1982), Hewson & Thorley (1989), Pintrich et al. (1993), Vosniadou (1994), Venville & Treagust (1998).

^[6]Um perfil conceitual é um conjunto heterogêneo que reúne simultaneamente diferentes versões para um mesmo conceito.

^[7]Representam um problema, pois para a mudança conceitual é necessário o conflito cognitivo de forma que o estudante prefira as concepções científicas e perceba a falha de suas concepções alternativas em explicação de situações propostas pelo professor. Vale destacar que as situações devem ser selecionadas para que efetuem o conflito e promovam mudança, isso é difícil levando-se em conta as experiências individuais de cada aluno.

alternativas os materiais impressos e livros texto utilizados no ensino, além disso, os professores também representam uma fonte quando são inexatos em sala de aula (Nakiboğlu & Tekin, 2006).

De forma geral é possível afirmar que a área de estudo da educação química descreve e investiga de forma extensa^[8] algumas concepções alternativas dos estudantes relacionadas aos seguintes conteúdos: estrutura atômica, estrutura da matéria, ligação química, mudança de estado físico, misturas, transformações químicas e físicas, conceitos de termodinâmica e equilíbrio químico, estequiometria e eletroquímica. Dessa forma percebe-se que a química nuclear e a radioatividade possuem uma limitação (de trabalhos, provavelmente por desinteresse didático) já observada e descrita na literatura (Nakiboğlu & Tekin, 2006). Entre os motivos apontados para este desinteresse estão: o baixo conhecimento dos professores para abordar esses conceitos, decisões curriculares pela menor importância deste conteúdo para os alunos, pouca ênfase empregada pelos autores de livros texto e localização final destes conceitos no livro didático (Atwood & Sheline, 1989). Ainda descreve-se que para o ensino de química nuclear é necessário o entendimento de outros conceitos (átomo, elemento, isótopo, nuclídeo, número atômico, massa atômica, próton, nêutron, núcleon) como pré-requisitos (Nakiboğlu & Tekin, 2006) resultando em uma dificuldade de trabalho, pois este conteúdo fica em um segundo plano (isso é concordante com o breve número de trabalhos nos periódicos de ensino em ciências considerando a química nuclear, consultados para realização desta pesquisa).

Os motivos expostos acima são discordantes quando se considera a presença deste conteúdo no cotidiano. Isso porque já é relatado (Atwood & Sheline, 1989) que os estudantes possuem contato com os temas ou fenômenos nucleares descritos em jornais (lixo nuclear e disposição, radônio, fenômenos estelares, armas nucleares) e, além disso, os mesmos citam os inúmeros benefícios da química nuclear nas áreas médica, eletrônica, geológica, arqueológica e industrial (Atwood & Sheline, 1989). Outra mostra da presença destes temas no cotidiano está também descrita (Xavier et al., 2007) considerando o quadro brasileiro. Aspectos históricos e de aplicação estão também extensivamente relatados (Araújo, 2005; Merçon & Quadrat, 2004; Chassot, 1995).

Outra contribuição vem de Vergnaud que propõe um modelo mais elaborado ao tentar explicar o desenvolvimento cognitivo através da formação de campos conceituais. A teoria dos campos conceituais foi elaborada por Vergnaud, quando trabalhava no ensino de matemática. Gérard Vergnaud é diretor de pesquisa do Centro Nacional de Pesquisa Científica da França. Foi aluno de doutorado de Piaget e sua teoria ampliou e redirecionou o foco piagetiano das operações lógicas gerais do pensamento, para o estudo do funcionamento cognitivo do “sujeito-em-ação”. Para Vergnaud, o desenvolvimento cognitivo depende de situações e conceitualizações específicas e necessárias, sendo isso mais eficiente do que a teoria lógica geral de Piaget (Moreira, 2002). A teoria dos campos conceituais foi desenvolvida não somente para ser aplicada em Educação Matemática, embora tenha sido criada avaliando as estruturas multiplicativas e aditivas (Vergnaud, 1983, *apud* Moreira, 2002), mas em qualquer área que seja necessária a aprendizagem de conceitos, como exemplo Vergnaud cita a Biologia (Vergnaud, 1996). Contrariamente, têm sido pouco explorada em Química e têm-se estendido a alguns estudos da Física.

Assim neste trabalho fez-se uso da teoria dos campos conceituais de Vergnaud como referencial para a organização didática das aulas de química ministradas para um curso técnico em radiologia (onde são abordados conceitos acerca da química nuclear/radioatividade). Dessa forma, elencar os benefícios do uso desta teoria no ensino de radioatividade/química nuclear é um dos objetivos deste trabalho, pois além de auxiliar no planejamento didático, ela pode também orientar

^[8] Isso pode ser verificado por uma breve consulta aos principais periódicos da área de ensino em ciências. Ou ainda na síntese apresentada por Vanessa Kind (anteriormente Vanessa Barker, 2004).

atividades em sala de aula. Destacam-se também como objetivos a identificação de alguns possíveis invariantes operatórios no campo de conceitos da radioatividade e inferir uma possível evolução conceitual para os alunos participantes através das respostas apresentadas.

A Teoria dos Campos Conceituais

Nesta teoria o conhecimento está organizado em campos conceituais cujo domínio por parte do aprendiz vai acontecendo ao longo de um extenso período de tempo, por meio da experiência, maturidade e aprendizagem (Moreira, 2002). Para Vergnaud campo conceitual é definido como:

“um conjunto informal e heterogêneo de problemas, situações, conceitos, relações, estruturas, conteúdos e operações de pensamento, conectados uns aos outros e, provavelmente, entrelaçados durante o processo de aquisição” (Vergnaud, 1998).

A definição acima é mais abrangente em comparação a outras propostas de definição apresentadas por Vergnaud, e, além disso, ele também descreve três justificativas que o levaram a essa definição de campo conceitual (Vergnaud, 1983 *apud* Moreira 2002), são elas:

(1) Um conceito não se forma a partir de um só tipo de situação. (2) Uma situação não se analisa com um só conceito. (3) A construção e apropriação de todas as propriedades de um conceito ou todos os aspectos de uma situação é um processo longo.

Vergnaud define o conceito como um triplete de três conjuntos, são eles: S (conjunto das situações), I (invariantes operatórios) e R (representações simbólicas) sendo que o entendimento desses conjuntos é necessário para a compressão do conceito na Teoria dos Campos Conceituais. Assim tem-se que $C = (S, I, R)$. O conjunto das situações (S) é responsável por dar sentido ao conceito. Segundo Vergnaud (1990, *apud* Moreira, 2002) o conceito de situação empregado está relacionado com tarefa, sendo que uma situação complexa envolve uma combinação de tarefas. Assim o campo conceitual formado é dependente das situações vivenciadas pelo sujeito, sendo que situações constituem a entrada de um campo conceitual e tornam esses conceitos significativos. O sentido do conceito é uma relação do sujeito com as situações e com as representações simbólicas, ou seja, o comportamento e sua organização evocados no sujeito por uma situação. Esse comportamento é denominado de esquema (Vergnaud, 1990, *apud* Moreira, 2002).

Vergnaud denomina de esquema a organização invariante do comportamento para uma determinada classe de situações (Vergnaud, 1998). Este conceito foi introduzido por Piaget para explicar as formas de organização das habilidades (sensório-motoras e intelectuais).

“Um esquema é um universal que é eficiente para toda uma gama de situações e pode gerar diferentes sequências de ação, de coleta de informações e de controle, dependendo das características de cada situação particular. Não é o comportamento que é invariante, mas a organização do comportamento.” (Vergnaud, 1998).

Vergnaud define ainda os quatro ingredientes do esquema: metas e antecipações, regras de ação, invariantes operatórios e as possibilidades de inferência (Vergnaud, 1998). Observa-se que o esquema possui uma estreita relação com as situações ou classe de situações, sendo que Vergnaud distingue duas classes segundo Moreira (2002):

- classes de situações em que o sujeito dispõe, no seu repertório, em dado momento de seu desenvolvimento e sob certas circunstâncias, das competências necessárias ao tratamento relativamente imediato da situação. Aqui tem-se a utilização de somente um esquema de forma automatizada e organizada.

- classes de situações em que o sujeito não dispõe de todas as competências necessárias, o que obriga a um tempo de reflexão e exploração, a hesitações, a tentativas frustradas, levando-o eventualmente ao sucesso ou ao fracasso. Tem-se o uso de vários esquemas, que entram em conflito, recombina-se.

O conhecimento contido nestes esquemas é denominado por Vergnaud como conceito-em-ação (categoria de pensamento considerada como pertinente) e teorema-em-ação (proposição considerada como verdadeira sobre o real) de forma global esses podem ser chamados de invariantes operatórios (Vergnaud, 1996).

Os invariantes operatórios (I) representam aquilo que é preservado no conceito (objetos, propriedades, relações) no qual repousa a operacionalidade do mesmo. Esses invariantes são reconhecidos e podem ser utilizados pelos sujeitos para analisar e dominar as situações. Os invariantes operatórios são formados pelos conceitos-em-ação e teoremas-em-ação que não se constituem inteiramente em um conceito e teorema respectivamente, pois podem ser implícitos ou explícitos. Sendo que os explícitos constituem a ponta (visível) de um iceberg, já os implícitos são difíceis de serem enunciados, por isso muitas vezes não são visíveis (Moreira, 2002).

Dessa forma conceitos-em-ação e teoremas-em-ação podem de forma progressiva se tornarem verdadeiros conceitos e teoremas científicos, uma vez que o conhecimento explícito pode ser comunicado a outros e discutido, o conhecimento implícito não (Vergnaud, 1998).

As representações simbólicas são, por exemplo, a linguagem natural, gráficos, diagramas ou sentenças formais, que podem ser usadas para indicar e representar os invariantes e por consequência representar as situações e os procedimentos para lidar com elas.

Como explicitado anteriormente, Vergnaud propõe um modelo mais elaborado, detalhado, amplificado e rico para atender o desenvolvimento cognitivo de determinado sujeito quando comparado com outras propostas construtivistas (Piaget, Vygotsky e Ausubel). Assim, a realização de uma breve comparação e a especificação de alguns apontamentos (Figura 1) das relações destas teorias se faz necessária para expressar a extensão do referencial de Vergnaud.

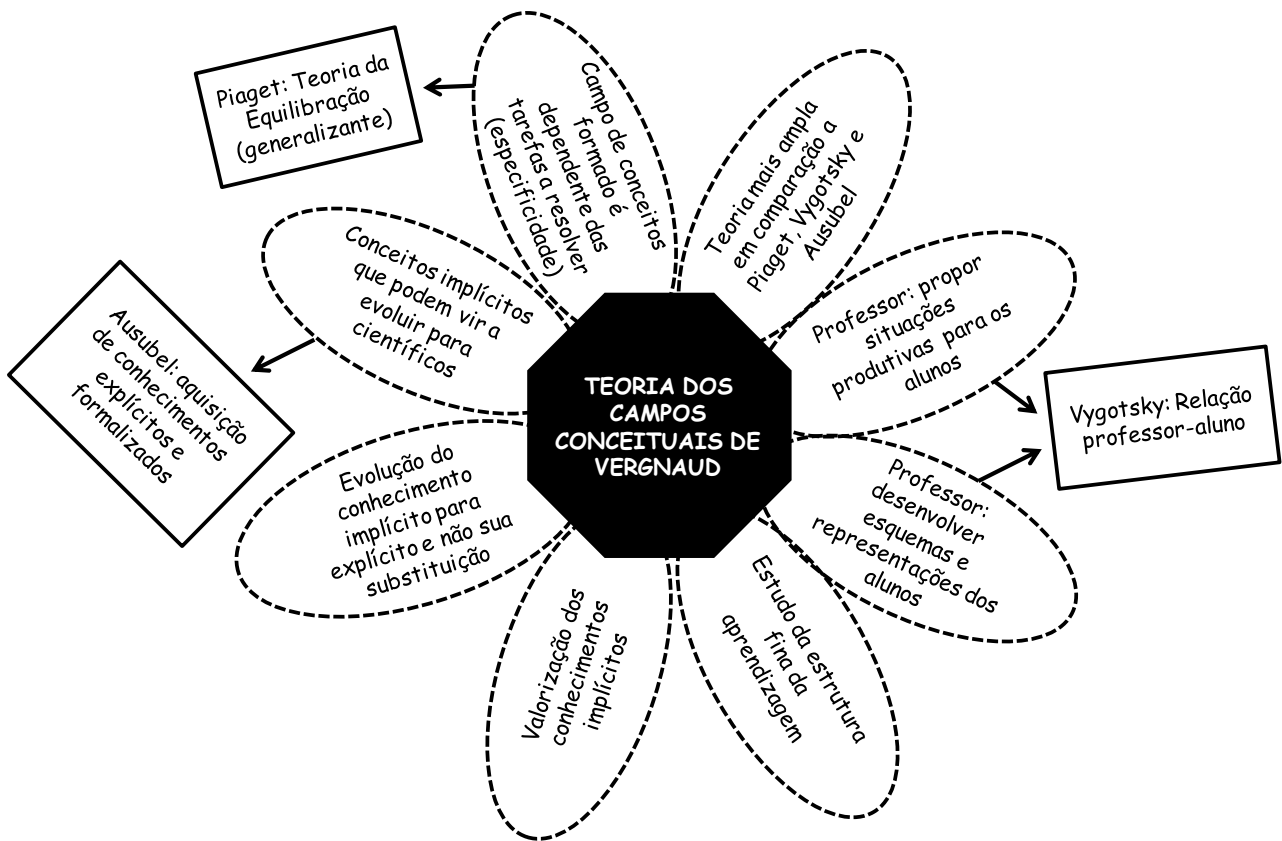


Figura 1 – Alguns apontamentos da Teoria dos Campos Conceituais e sua relação com outras teorias cognitivistas (Moreira, 2002).

Vergnaud é um psicólogo de tradição piagetiana que procura investigar o sujeito em processo de aprendizagem em resposta de uma situação de ensino. Sua teoria procura redirecionar o foco piagetiano do sujeito epistêmico para o sujeito-em-ação. Esse deslocamento procura responder à pergunta central de como o sujeito aprende em situação. Utilizando a teoria de Vergnaud é possível pesquisar e compreender melhor a evolução temporal dos sujeitos à medida que aprendem, bem como pensar em planejar as intervenções didáticas baseadas nos conteúdos a serem estudados (Carvalho Jr. & Aguiar Jr., 2008). Por isso, Vergnaud considera que o desenvolvimento cognitivo é fortemente influenciado pelo conteúdo do ensino. Ele afirma ainda que o ponto fundamental da cognição é o processo de conceitualização do real, atividade psicológica interna do sujeito que não pode ser reduzida nem a operações lógicas gerais, tampouco às operações puramente linguísticas. Com isso conclui-se que para Vergnaud o desenvolvimento cognitivo não pode ser explicado por modelos simplistas (Vergnaud, 1998). Por outro lado, com a teoria de Piaget possuímos uma descrição dos mecanismos gerais do desenvolvimento do sujeito que podem conduzir à aprendizagem. A Teoria da Equilibração (Piaget, 1985) com seus conceitos de assimilação, acomodação, perturbação, compensação e equilíbrio majorante nos fornecem as bases para explicar as ações e operações de um sujeito frente a um objeto de conhecimento. Em síntese, Vergnaud não procura construir uma teoria geral para o desenvolvimento, mas sim, relaciona o desenvolvimento do sujeito com as tarefas que este é levado a resolver. A grande herança de Piaget na Teoria de Vergnaud é o conceito de esquema (Carvalho Jr. & Aguiar Jr., 2008).

Moreira (2002) argumenta ainda que a teoria dos campos conceituais de Vergnaud possui influência de Vygotsky uma vez que considera o professor como importante no longo processo que caracteriza o domínio de um campo conceitual pelo aluno. A tarefa do professor consiste em ajudar o aluno a desenvolver seu repertório de esquemas e representações. Nesta mediação são utilizados pelo professor linguagem e símbolos que são importantes na acomodação do conhecimento (pois, o

aluno não capta seu significado sozinho), sendo a principal função do professor a de propor situações produtivas para seus alunos (Vergnaud, 1998).

Com relação à aprendizagem significativa, Vergnaud afirma que muitas de nossas concepções vêm das primeiras situações que fomos capazes de dominar ou da nossa experiência tentando modificá-las (Vergnaud, 1996). As concepções prévias contêm teoremas e conceitos-em-ação que não são verdadeiros no plano científico, mas podem evoluir para eles. Entretanto isso é demorado e às vezes uma ruptura com as concepções prévias deve ser executada, caso isso não ocorra o conhecimento prévio funciona como obstáculo epistemológico. Aí o papel do professor na desestabilização cognitiva e estabelecimento de rupturas específicas para obter o avanço conceitual.

Moreira (2002) compara a teoria de Ausubel e Vergnaud da seguinte forma:

“a teoria de Ausubel, é uma teoria de aprendizagem em sala de aula, de aquisição de corpos organizados de conhecimento em situação formal de ensino, enquanto que a teoria de Vergnaud é uma teoria psicológica do processo de conceitualização do real que se propõe a localizar e estudar continuidades e rupturas entre conhecimentos do ponto de vista de seu conteúdo conceitual. A teoria de Vergnaud não é uma teoria de ensino de conceitos explícitos e formalizados, embora tenha subjacente a ideia de que os conhecimentos-em-ação (largamente implícitos) podem evoluir, ao longo do tempo, para conhecimentos científicos (explícitos). A teoria de Ausubel, por outro lado, se ocupa exatamente da aquisição de conceitos explícitos e formalizados, chegando inclusive a propor princípios programáticos – como a diferenciação progressiva, a reconciliação integradora e a consolidação – para a organização do ensino”.

Ou seja, a teoria dos campos conceituais de Vergnaud é um referencial mais rico na investigação da aprendizagem significativa ao analisar a estrutura fina desta aprendizagem. Além do mais a escola em geral superestima o conhecimento explícito e subestima ou desvaloriza o conhecimento implícito, entretanto, Vergnaud aponta que a maior parte da nossa atividade física e mental (comportamento) é constituída de esquemas e estes de invariantes operatórios na sua maioria representados por conhecimentos implícitos (Vergnaud, 1994, *apud* Moreira 2002). É importante considerar que muitas vezes os alunos resolvem as situações, mas não explicitam os teoremas-em-ação que foram utilizados, essa é a diferença entre a ação e a formalização da ação. Como consequência, vemos e levantamos somente a parte visível do iceberg de conhecimentos explícitos, mas não devemos esquecer que a maior parte dos conhecimentos são implícitos e formam a parte não visível do iceberg (Vergnaud, 1994, *apud* Moreira 2002). Em síntese o conhecimento implícito vai evoluindo de forma progressiva para o explícito, ao invés de ser substituído por ele.

Proposta metodológica de investigação

Esta pesquisa realizada em ambiente escolar foi executada com alunos do curso técnico de radiologia durante parte do semestre de 2011/2. Esta turma de curso técnico pertence a uma escola técnica localizada em Porto Alegre onde frequentam 10 alunos (2 homens e 8 mulheres) com idades variando de 20 a 50 anos. A disciplina de Química Aplicada era constituída de dois períodos semanais de 50 minutos. Assim a proposta metodológica consistiu inicialmente na elaboração de um mapa conceitual (Figura 2), apresentando conceitos relacionados à radioatividade. Após estes conceitos foram distribuídos em uma sequência didática, onde foram divididos em oito aulas (16 horas-aula). Para cada aula pontuou-se situações que abordavam determinado conceito (Tabela 1), sendo que os alunos eram questionados frente a estas situações. As atividades didáticas foram diversificadas sendo utilizado o quadro tradicional, recursos de mídia (vídeos e apresentações em data show), leitura de textos, pesquisa na biblioteca e apresentação das respectivas pesquisas pelos alunos. O acompanhamento e a coleta dos dados sobre a aprendizagem destes alunos ao longo da sequência didática foram realizados através da análise das respostas (ou justificativas apresentadas) em três questionários individuais (que abordavam os conceitos trabalhados): inicial, intermediário e final. O questionário inicial consistiu em 7 perguntas de livre resposta. Em uma etapa intermediária, outro questionário foi aplicado sendo que este era formado por afirmações e sua classificação em

verdadeiras ou falsas pelo aluno e ainda por questões discursivas ou de resolução numérica. O questionário final foi realizado da mesma maneira que o intermediário reelaborando algumas questões que envolviam os mesmos conceitos.

Planejamento do campo de conceitos, sequência didática e informações dos questionários

A partir da análise do conteúdo a ser abordado, uma ênfase de um campo conceitual foi escolhido para ser trabalhado em sala de aula. Com este ponto de partida estabeleceram-se relações e conexões existentes entre este aspecto e outros do conteúdo, formando assim um campo de conceitos. A partir disso o professor estabeleceu um recorte do campo previamente construído de acordo com os objetivos do ensino e com o tempo disponível. A seguir o professor elencou algumas situações de ensino e as variáveis didáticas relevantes para a construção de uma série de atividades coerentes e inter-relacionadas. Além disso, estas atividades foram organizadas de forma cronológica e em uma sequência didática para ser aplicada no ambiente escolar (Carvalho Jr. & Aguiar Jr., 2008). A Figura 2 descreve o campo de conceitos abordado em radioatividade.

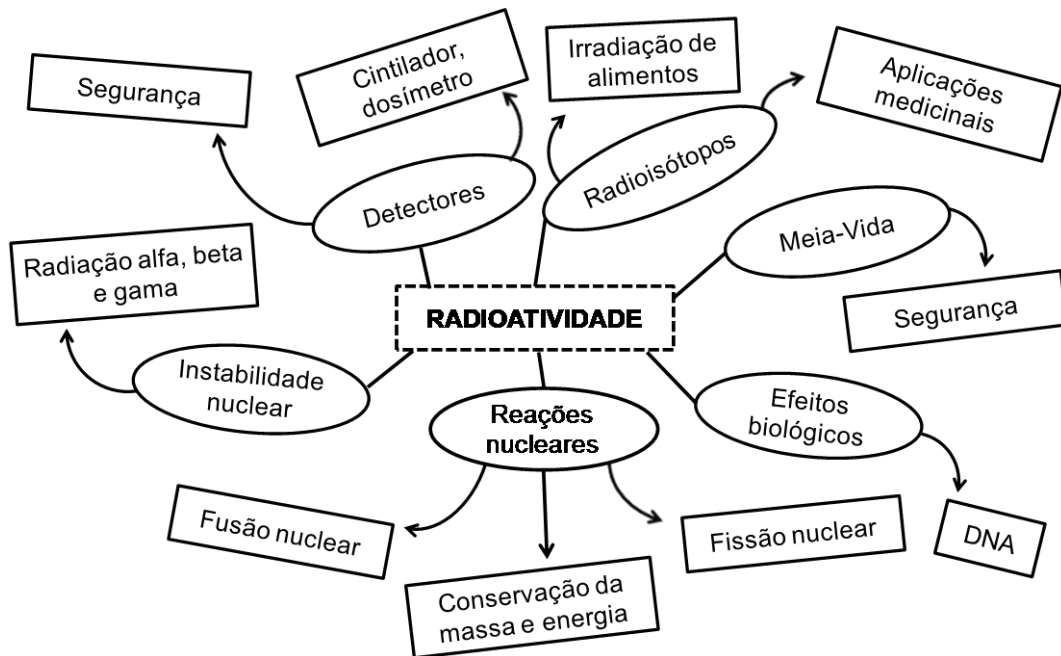


Figura 2 – Campo de conceitos escolhido para trabalhar a radioatividade.

Com este planejamento foram realizados três momentos de verificação da evolução conceitual dos estudantes:

Momento 1 (Questionário inicial) – Antes de qualquer atividade sobre o conteúdo a ser abordado em sala de aula, foi aplicado um pré-teste, a fim de identificar os modelos prévios utilizados pelos estudantes e posteriormente foi iniciada a discussão sobre o conteúdo a ser trabalhado.

Momento 2 (Questionário intermediário) – Realizou-se uma avaliação intermediária com o objetivo de verificar as transformações dos modelos conceituais adquiridos pelos estudantes após algumas atividades planejadas e desenvolvidas em sala de aula.

Momento 3 (Questionário final) – A avaliação final foi realizada após toda a sequência didática ter sido desenvolvida em sala de aula, com a principal finalidade de verificar a continuidade da construção e transformação dos modelos conceituais dos estudantes individualmente.

Na Tabela 1 se apresenta uma síntese dos conceitos trabalhados durante a sequência didática de oito aulas e uma breve descrição das atividades realizadas. As respostas das questões de classificação em V e F foram agrupadas em gráficos (Figura 3 e 4) e algumas justificativas também estão resumidas na Tabela 2 de forma a identificar possíveis invariantes operatórios expressados por estes alunos. Considerando os critérios expostos anteriormente, para os alunos que responderam os três questionários foi possível traçar a evolução das respostas em função dos momentos, considerando os conceitos abordados no mapa conceitual. Os alunos foram nomeados de forma genérica de 1 a 10 (Aluno 1, Aluna 2, etc.) essa numeração é a identificação do aluno.

Tabela 1 – Cronograma das aulas, conceitos trabalhados, descrição das atividades realizadas e sua relação com as situações envolvidas em cada aula.

Aula	Conceitos	Atividades realizadas	Situações envolvidas
1	Revisão conceitos (isótopos e modelos atômicos). Estudo da radiação nuclear e radioatividade. Aspecto histórico. Estabilidade nuclear. Radiação alfa, beta e gama.	Momento 1. Uso do quadro e vídeo sobre histórico da radioatividade ^a .	- Estabilidade nuclear pela razão número de nêutrons/número de prótons. - Núcleos com números de massa acima de 209 são instáveis. - Histórico da radioatividade: Becquerel, Marie e Piere Curie, Rutherford.
2	Radiação alfa, beta e gama. Espectro eletromagnético das radiações. Reações nucleares (forma de representação).	Uso do quadro e um esquema resumo das radiações.	- Emissão de radiação alfa, beta e gama e o rearranjo nuclear. - Relação espectro-eletromagnético e energia da radiação. - Aplicações das radiações
3	Radioatividade natural e artificial. Energia nuclear, fissão e fusão nuclear. Conservação da massa e energia em reações nucleares.	Uso do quadro e vídeos sobre reações de fissão e fusão nuclear ^b .	- Radioisótopos naturais e sintéticos - Série de desintegração - Lei de Einstein: $E = mc^2$ - A fissão nuclear e os reatores atômicos, a fusão nuclear e o Sol.
4	Estudo do conceito de meia-vida e radioisótopos usados na medicina. Reatores nucleares e acidentes.	Uso do quadro, da biblioteca para pesquisa e vídeos sobre acidentes nucleares ^c .	- Meia-Vida e tempo necessário para disposição dos resíduos. - Meia-Vida biológica: radioisótopos e o organismo. - Funcionamento de um reator e acidentes nucleares.
5	Radioisótopos utilizados na medicina.	Apresentação dos alunos sobre radioisótopos pesquisados ^d .	- Radioisótopos e aplicação em medicina: mapeamento de órgãos, radiação emitida, produtos de decaimento, meia-vida física e biológica.
6	Estudos dos detectores de radiação e unidades de medida das radiações.	Momento 2. Uso de uma apresentação em data show. Leitura de texto sobre revelação de filmes radiológicos.	- Interação da radiação ionizante com a matéria - Tipo e funcionamento dos detectores - Unidades e medidas da radiação - Exposição a radiação e doses letais
7	Estudar os usos médicos da radiação, irradiação de alimentos.	Uso de uma apresentação em data show e leitura de textos sobre irradiação de alimentos e aplicações medicinais dos radioisótopos.	- Radioisótopos e uso no mapeamento de órgãos e tratamento do câncer - Benefícios e riscos da irradiação de alimentos
8	Efeitos biológicos das radiações	Uso de uma apresentação em data show. Momento 3.	- Variáveis dependentes dos danos na radiação (tempo e forma de exposição, órgão irradiado e tipo de radiação). - Classificação dos efeitos biológicos - Radiação aguda

^a<http://www.youtube.com/watch?v=5VvjBz-jbVc>

^b<http://www.youtube.com/watch?v=P79kEvkaAS8> e <http://www.youtube.com/watch?v=xSfnHYxSp6s>

^cReatores: <http://www.youtube.com/watch?v=7pcQ1EzQgYI>,

Chernobyl:<http://www.youtube.com/watch?v=RgQXiOW2IPY>,
<http://www.youtube.com/watch?v=wHUCHyztI5M&feature=related>,
<http://www.youtube.com/watch?v=BygxeniXsOY&NR=1>.

^dRadioisótopos utilizados: cromo-51, cobalto-60, flúor-18, gálio-67, ouro-198, índio-113m, iodo-125, ferro-59, fósforo-32, selênio-75, tecnécio-99m, tálio-201, xenônio-133, carbono-11, mercúrio-197, estrôncio-85, trítio (H-3).

Resultados e Discussão

Questionário inicial (Momento 1)

O questionário inicial foi aplicado com o principal objetivo de avaliar os conhecimentos prévios dos alunos e seu entendimento sobre os conceitos que seriam abordados, além disso, de forma adicional conhecer e caracterizar os sujeitos que faziam parte desta classe de alunos, por perguntas discursivas de livre resposta. Em geral são alunos que estão de 1 a 5 anos sem estudar e já possuem o ensino médio completo. Somente duas alunas relataram que estavam sem estudar há 10 e 20 anos, o que pode ser considerado um dos motivos para a dificuldade destes alunos frente ao curso em questão. Todos enunciaram a falta de tempo para estudar, principalmente por motivos de trabalho e não evidenciaram grandes dificuldades de aprender química. Ao final do curso todos pretendem trabalhar na área médica através da prestação de concurso público. A maioria adquire conhecimento sobre essa área (curso técnico) na internet. Quando questionados sobre as funções da sua futura profissão, respondem que um técnico em radiologia trabalha realizando exames de raio-X. Outras atribuições também foram indicadas como posicionamento do paciente, preparação e organização da sala de radiografia e trabalho com radioterapia.

Quando questionados frente ao conceito de radioatividade, somente duas alunas relacionaram o conceito de radioatividade com emissão de radiação, os outros participantes não responderam a questão. Em geral, inicialmente, os alunos não conseguem definir radiação e também não citam exemplos disso (não reconhecem os raios-X como radiação). Somente uma aluna citou um exemplo de radioisótopo (iodo-131), mas não definiu sua utilização, os outros alunos novamente não responderam. A questão que abordava o conceito de meia-vida foi respondida de forma insatisfatória por todos os alunos o que demonstra o pouco contato com este conceito. A última questão tinha como objetivo evidenciar os conhecimentos e entendimentos dos alunos sobre as formas de detecção da radiação. Cinco alunos responderam que a radiação pode sim ser detectada e quantificada, entretanto somente três explicaram o motivo ou expressaram suas opiniões.

Questionário intermediário (Momento 2)

Após cinco aulas foi realizado um questionário intermediário com o objetivo de verificar a transformação conceitual construídos pelos estudantes após algumas atividades planejadas e executadas em sala de aula. Este questionário consistiu em afirmações (que abordavam os conceitos da sequência didática) e sua classificação em verdadeiras ou falsas, após, era solicitado ao aluno, que justificasse duas afirmações que ele considerasse verdadeiras e duas falsas. Em seguida destas afirmações, três questões eram apresentadas para resolução, na qual os alunos deviam expressar a forma de resolução da questão. A Figura 2 expressa o número de respostas corretas em função das questões 1 a 9.

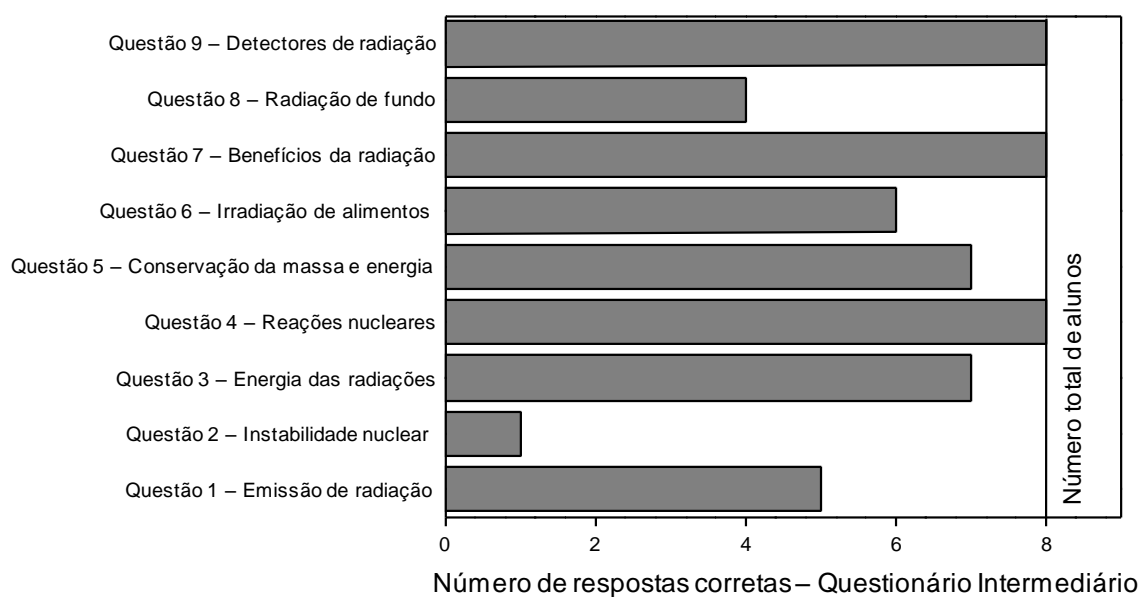


Figura 3 – Número de respostas corretas em função das questões 1 a 9 no questionário intermediário.

É possível observar na Figura 2 que as questões 1 e 2, as quais abordam os conceitos iniciais de estabilidade nuclear, foram respondidas de forma incorreta, ou seja, os alunos nesta etapa ainda não compreendem a emissão de radiação (alfa, beta ou gama) como um fenômeno nuclear ao invés de eletrônico, e por consequência, se não localizam o fenômeno na estrutura do átomo também não identificam que a repulsão entre os prótons e o rearranjo das partículas nucleares são responsáveis pela instabilidade nuclear. Isso acontece principalmente pela necessidade de abstração relacionada com os conceitos de química nuclear, que requerem, para sua compreensão, imaginação ou representações simplificadas destes conceitos. Da mesma forma, existe uma confusão entre os conceitos relacionados às reações nucleares e químicas (Nakiboğlu & Tekin, 2006). Como estratégia é proposto o uso do computador com simulações que representam modelos relativos aos tópicos abstratos no nível microscópico da matéria, em vista do perigo e dificuldade dos experimentos relacionados a esse conteúdo (Nakiboğlu & Tekin, 2006).

As outras questões foram em sua maioria respondidas de forma correta, ou seja, a metodologia desenvolvida e a abordagem dos conteúdos na sequência didática foram efetivas, principalmente no reconhecimento da energia das radiações, que em geral a maioria dos alunos justificou afirmando que os raios-X e raios gama possuem alta energia e as microondas baixa energia. Para todos os alunos as reações nucleares (questão 4) possibilitam a síntese de muitos radioisótopos não encontrados na natureza. Além disso, a maioria dos alunos reconhece que nessas reações ocorre a conservação da massa e da energia (questão 5). A grande parte dos estudantes submetidos às atividades abordadas na sequência didática, afirma que os alimentos conservados por irradiação não se tornam radioativos (questão 6), contrariando as concepções alternativas apresentadas na literatura (Nakiboğlu & Tekin, 2006).

Na questão que versava sobre benefícios e malefícios da radiação, todos os participantes enunciaram benefícios da radiação e contrariaram as concepções alternativas^[9] descritas por Nakiboğlu & Tekin (2006). Com relação a radiação de fundo, é importante salientar que na sequência didática este assunto está apresentado (formalmente) na sexta aula, após a realização do

^[9] Em face dos grandes acidentes nucleares e da gravidade dos danos das radiações, uma das crenças que persiste é que a radiação somente trás malefícios, os benefícios ficam esquecidos por serem de pequeno tamanho se comparados aos malefícios. Essas impressões negativas estão descritas em Atwood & Sheline (1989).

questionário intermediário. Assim observa-se que somente metade dos alunos respondeu de forma efetiva, provavelmente utilizando a ideia de radioisótopos naturais, abordada na terceira aula da sequência.

A questão que tratava sobre a detecção da radiação (questão 9) foi reescrita (a partir do questionário inicial) e aplicada novamente (no questionário intermediário), com a confirmação e concordância dos alunos presentes no que se refere a identificação da detecção da radiação. Assim observa-se que inicialmente alguns alunos possuíam dúvidas com relação a detecção, mas em uma etapa intermediária todos afirmavam que a radiação pode ser detectada e quantificada.

As questões 10, 11 e 12 eram de natureza discursiva, na qual os alunos deveriam expressar alguma forma escrita de resolução. Nenhum aluno realizou a questão 10 de forma satisfatória, duas alunas na tentativa de realização confundiram número de massa com número de nêutrons, mas diminuíram duas unidades do número de prótons e quatro unidades de massa atômica, ou seja, reconhecem e aplicam o algoritmo de forma correta, mas não sabem onde estão aplicando (não percebem o significado do conceito de número atômico, número de massa e número de nêutrons). A questão 11 abordou o conceito de meia-vida pela utilização de recursos numéricos, sendo que nenhum aluno enunciou a resposta correta mostrando uma resolução efetiva da questão. Assim observa-se que os alunos possuem dificuldade principalmente quando se deparam com problemas numéricos. Na questão 12 (radioisótopos) os alunos não tiveram dificuldades e todos realizaram efetivamente visto que na aula anterior cada aluno ficou responsável de pesquisar e apresentar informações sobre um radioisótopo para a turma. Isso mostra a efetividade do trabalho realizado com os radioisótopos de aplicação medicinal para estes alunos.

Questionário Final (Momento 3) e possíveis invariantes operatórios enunciados pelos alunos

A Figura 4 representa o número de respostas corretas em função das questões 1 a 9 do questionário final.

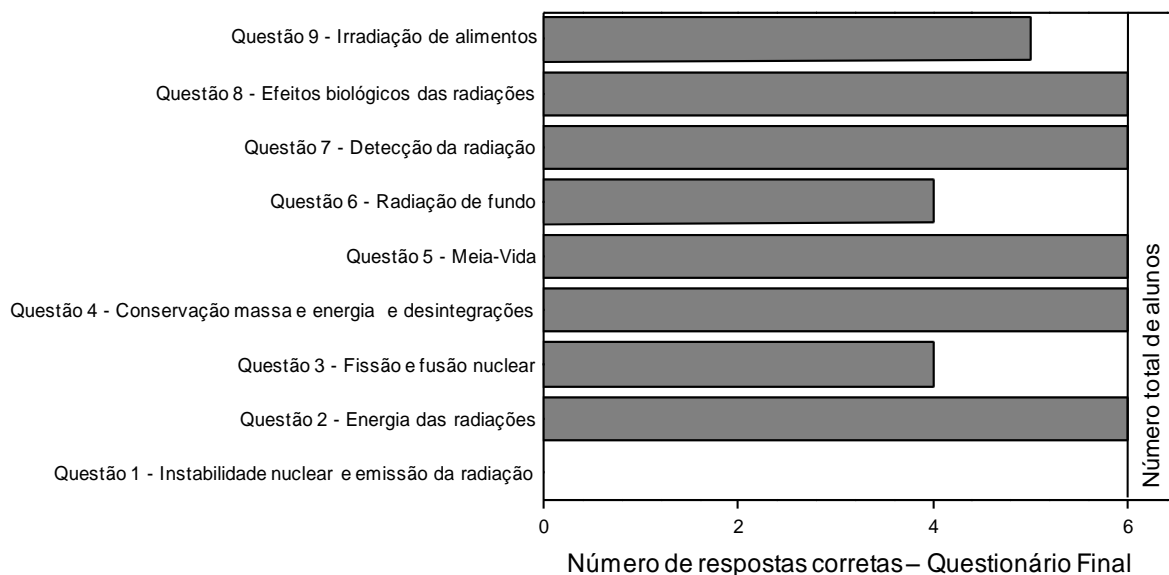


Figura 4 – Número de respostas corretas em função das questões 1 a 9 no questionário final.

Como já observado no questionário intermediário, ao final da sequência didática trabalhada, os alunos não identificam o fenômeno da emissão de radiação (alfa, beta ou gama) com ocorrência no núcleo atômico. Entretanto nenhum aluno apresentou uma justificativa para esta questão. Para as outras questões não foram observadas grandes dificuldades sendo a grande maioria das questões respondidas de forma correta. É importante destacar os problemas de linguagem nas

justificativas apresentadas, isso provavelmente seja uma dificuldade relacionada com o problema de formalização da ação já discutida por Moreira (2002). A Tabela 2 resume alguns invariantes operatórios identificados ou enunciados pelos alunos durante as atividades que envolviam o campo de conceitos da radioatividade.

Tabela 2 - Alguns possíveis invariantes operatórios enunciados pelos alunos nos questionários

Conceitos da sequência	Possíveis invariantes operatórios enunciados pelos alunos nos questionários
Instabilidade nuclear e Emissão de radiação (alfa, beta e gama)	<ul style="list-style-type: none"> - Confusão entre estabilidade nuclear e eletrônica - Radiações alfa, beta e gama são emitidas pelas transições que ocorrem na eletrosfera dos átomos - A repulsão entre os prótons e o rearranjo nuclear não está relacionado com a instabilidade nuclear
Energia das radiações	<ul style="list-style-type: none"> - A radiação gama é energia pura - Somente as partículas alfa são de baixa energia - A radiação beta e gama são de alta energia - As radiações microondas possuem alta energia
Reações nucleares (Fissão e fusão nucleares)	<ul style="list-style-type: none"> - A fissão nuclear é a quebra de um átomo grande em dois núcleos menores - A fusão nuclear é a quebra de um átomo grande - As reações nucleares possibilitam a síntese de muitos radioisótopos
Meia-Vida	<ul style="list-style-type: none"> - Tempo que leva para o átomo perder metade da sua força - Cada meia-vida de um radioisótopo é calculada pela metade do tempo - A cada meia-vida se parte ao meio o elemento - A meia-vida física de um radioisótopo é diferente da sua respectiva meia-vida biológica
Conservação da massa e energia nas reações nucleares	<ul style="list-style-type: none"> - Massa pode ser convertida em energia nas reações nucleares - Ocorre conservação da massa e energia nas reações químicas e nucleares
Irradiação de alimentos	<ul style="list-style-type: none"> - Alimentos conservados por irradiação não emitem radiação depois deste processo - A adição de conservantes nas frutas faz com que estas se tornem radioativas - Alimentos conservados por irradiação são produzidos para serem consumidos e não podem emitir radiação depois deste processo - Alimentos conservados por irradiação se utilizam da radiação, portanto passam a ser radioativos
Benefícios das radiações	<ul style="list-style-type: none"> - As radiações podem ser utilizadas para identificação de tumores, mapeamento de órgãos e radioterapia - Os benefícios das radiações são restritos a área médica
Efeitos biológicos das radiações	<ul style="list-style-type: none"> - Os efeitos biológicos das radiações são conhecidos com base nos acidentes nucleares e experiências com cobaias
Radiação de fundo	<ul style="list-style-type: none"> - O cimento emite um tipo de radiação de fundo - Não estamos expostos a radiação de fundo - Muitos elementos emitem radiação
Detectores de radiação	<ul style="list-style-type: none"> - Os detectores de radiação auxiliam na segurança e quantificam o nível de radiação de uma área - Para detecção da radiação é necessário a interação da radiação com a matéria - Para quantificação da radiação é necessária a geração de íons ou emissão de luz - Dosímetro é o equipamento utilizado para medir as doses de radiação pela qual estamos expostos no ambiente de trabalho - Com a medida dos níveis de radiação evita-se exposição desnecessária - Os detectores fornecem a segurança necessária para os seres humanos - Com o uso de detectores evita-se a contaminação - Detectores são importantes para que não se ultrapasse o limite de exposição permitido para o ser humano - O dosímetro identifica o nível de radiação - Os detectores auxiliam no controle da radiação espalhada

Evolução das respostas dos alunos

Após a coleta das respostas dos alunos nos três questionários foi possível analisá-las em relação aqueles alunos que responderam os três questionários. A Figura 5 apresenta a evolução das respostas de três alunos em função dos momentos. É possível assinalar na Figura que para estes três alunos observa-se ou a estabilidade das respostas incorretas ou a variabilidade das respostas (levando em consideração a Aluna 5). Isso se deve principalmente pela dificuldade de construção dos conceitos relacionados à emissão de radiação e instabilidade nuclear conforme já discutido.

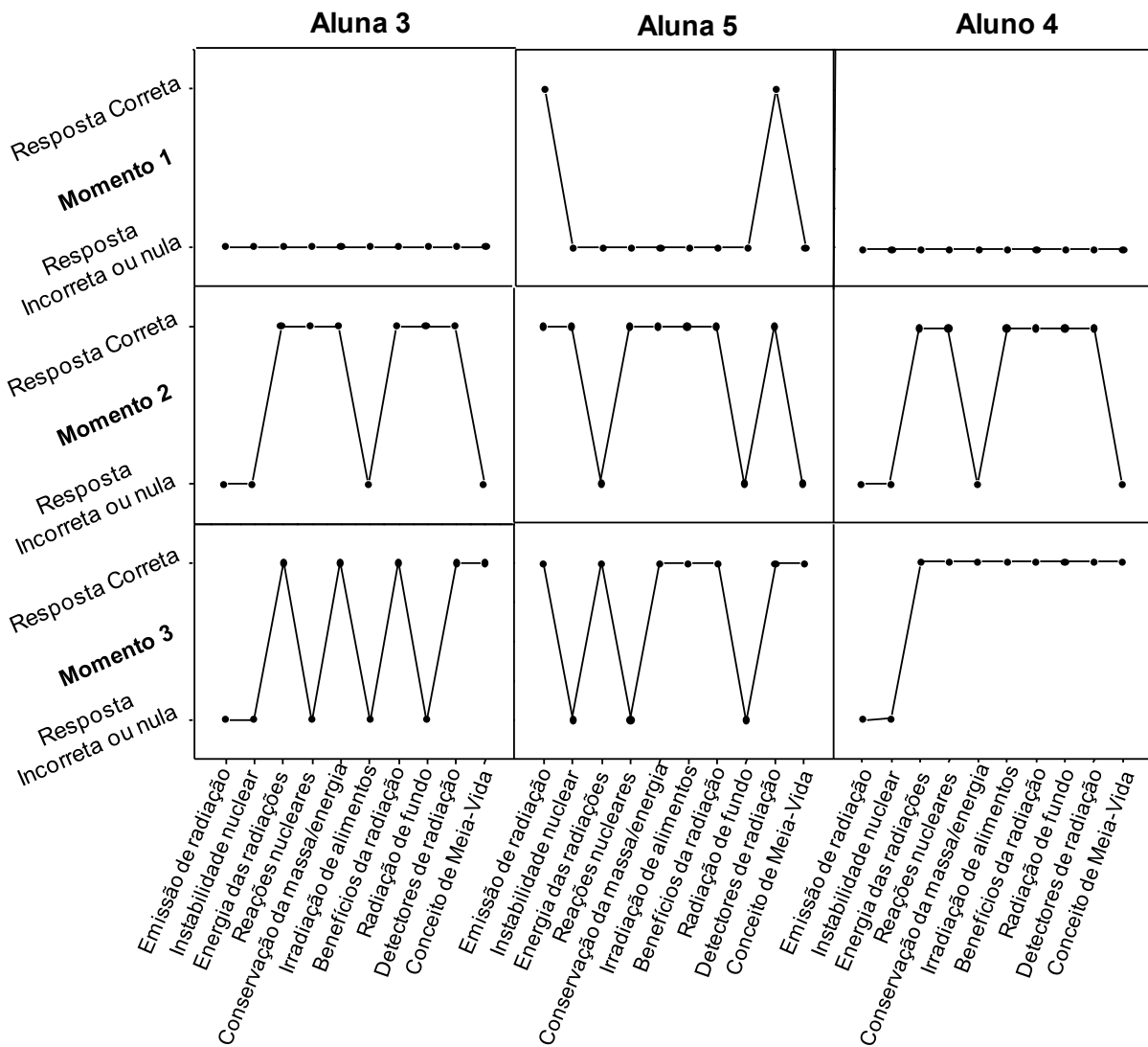


Figura 5 – Evolução das respostas dos alunos 3, 5 e 4 em função dos momentos 1, 2 e 3 considerando os conceitos trabalhados.

Ao final da sequência de trabalho todos os participantes demonstraram eficiência no reconhecimento da energia das radiações. Com relação ao conceito de reações nucleares uma instabilidade é observada se consideramos as Alunas 3 e 5, para o aluno 4, isso não é observado. Ao final da sequência todos os participantes reconhecem a conservação da massa e energia (nas reações nucleares) não sendo apresentadas modificações ou grandes dificuldades nas questões relacionadas a esse conceito. Por outro lado, na irradiação de alimentos se observa a não modificação da resposta da Aluna 3 (mesmo após o questionário final a aluna ainda afirma que alimentos irradiados emitem radiação depois deste processo), entretanto isso não é observado para os alunos 5 e 4. Todos os

alunos demonstraram resultados eficientes no reconhecimento de benefícios das radiações apesar de inicialmente não citarem exemplos disso. Na radiação de fundo, o aluno 4 demonstra um conceito formado entre o Momento 1 e Momento 2 e não modificado durante o trabalho posterior da sequência. De forma contrária, a aluna 5 não evidenciou modificação, ou seja, não reconheceu a radiação de fundo apesar do trabalho desenvolvido durante as aulas. Para a aluna 3 se observa uma instabilidade nas respostas relativas a este conceito. Todos reconhecem a detecção da radiação, isso demonstra a eficiência da proposta didática adotada na construção deste tópico. Para o conceito de meia-vida se observa uma dificuldade de modificação das respostas incorretas (ou nulas) isso porque se tornam estáveis para os três alunos até o momento 2, conseqüentemente, se observam mudanças apenas no momento 3 o que sugere a necessidade de uma atenção maior pela dificuldade deste conceito.

Avaliando os perfis onde estão representadas as respostas é possível observar que para as alunas 3 e 5 aconteceram algumas oscilações entre as respostas corretas e incorretas, o que demonstra a flexibilidade do uso de conceitos para resolução das questões e o não abandono das concepções prévias em relação às científicas, mas sugere uma mudança de perfil conceitual. Isso não acontece no Aluno 4, uma vez que oscilações não são observadas (apenas acontece a mudança das respostas incorretas ou nula para corretas e não a volta) isso evidencia que os conceitos construídos ao longo dos momentos foram suficientes para resolução correta das questões, justificando assim a eficiência das atividades realizadas na sequência para resolução das questões.

Conclusões

A partir do trabalho desenvolvido é possível afirmar que a teoria dos campos conceituais é uma boa ferramenta principalmente quando utilizada no planejamento didático (campo de conceitos). Com esta teoria é possível também realizar a seleção e análise das situações de ensino que dão sentido aos conceitos e com isso acompanhar os estudantes enquanto aprendem, mapeando dessa forma, sua evolução conceitual e identificando indícios de aprendizagem significativa (em resposta das situações selecionadas). Ao fazer uso deste referencial é permitido ao professor pensar seu objeto de ensino de forma mais global. Adicionalmente a adaptação dos conceitos pelas particularidades dos alunos também é válida, através da seleção das situações de ensino. Com isso se obtém um ganho na aprendizagem que é avaliada de forma individual, através da análise do “sujeito-em-ação”, em contrário à massificação dos alunos. Assim é revelada a prosperidade deste referencial no ensino de ciências, principalmente pela identificação de alguns invariantes operatórios (através das justificativas dos alunos), que podem orientar práticas didáticas eficientes na transformação das estruturas de conceitos apresentadas pelos participantes.

Em relação ao campo de conceitos selecionado (radioatividade) foi observado que o referencial teórico utilizado auxiliou na identificação das dificuldades dos alunos em relação aos conceitos de emissão de radiação e instabilidade nuclear. De forma adicional foi possível inferir uma possível evolução conceitual para três alunos ao longo do campo de conceitos adotado, entretanto as oscilações observadas sugerem que nos alunos não ocorre uma mudança conceitual com a substituição das concepções alternativas, mas uma mudança de perfil conceitual (Mortimer, 1995).

Referências

Araújo, E. B. de (2005). A utilização do elemento tecnécio-99m no diagnóstico de patologias e disfunção dos seres vivos. *Química Nova na Escola*, 6, 31-35.

- Atwood, C. H., Sheline, R. K. (1989). Nuclear chemistry: include it in your curriculum. *Journal of Chemical Education*, 66(5), 389-393.
- Barker, V. (2004). Beyond appearances: student's misconceptions about basic chemical ideas. 2nd ed. RSC. Durham, England: Durham University School of Education.
- Cachapuz, A., Praia, J. e Jorge, M. (2000). Perspectivas de ensino. In: A. Cachapuz (Org.), *Formação de Professores – Ciências*, Porto: Centro de Estudos de Educação em Ciência (CEEC).
- Carvalho Jr., G., Aguiar Jr., O. (2008). Os Campos Conceituais de Vergnaud como ferramenta para o planejamento didático. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 25(2), 207-227.
- Chassot, A. (1995). Raio-X e radioatividade. *Química Nova na Escola*, 2, 19-22.
- Committee on Undergraduate Science Education. (1997). *Science Teaching Reconsidered: A Handbook*, National Academies Press: Washington, DC.
- Gil Pérez, D., Carrascosa Alís, J., Dumas-Carré, A., Furio Mas, C., Gallego, R., Gene Duch, A., González, E., Guisasola, J., Martínez-Torregrosa, J., Pessoa de Carvalho, A. M., Salinas, J., Tricárico, H., Valdés, P. (1997) ¿Puede hablarse de consenso constructivista en la educación científica?. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(3), 503-512.
- Hewson, P. W., & Thorley, N. R. (1989). The conditions of conceptual change in the classroom. *International Journal of Science Education*, 11(5), 541-553.
- Laburú, C. E. & Carvalho, M. (2001). Controvérsias construtivistas e pluralismo metodológico no ensino de ciências naturais. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 1(1) 57-67.
- Matthews, M. (2000). Construtivismo e o ensino de ciências: uma avaliação. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 17(3), 270-294.
- Merçon, F. & Quadrat, S. V. (2004). A radioatividade e a história do tempo presente. *Química Nova na Escola*, 19, 27-30.
- Moreira, M. A. (2002). A teoria dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a pesquisa nesta área. *Investigações em Ensino de Ciências*, 7(1), 7-29.
- Moreira, M. A. & Greca, I. M. (2003). Cambio conceptual: análisis crítico y propuestas a la luz de la teoría del aprendizaje significativo. *Ciência & Educação*, 9(2), 301-315.
- Mortimer, E. F. (2000). *Linguagem e formação de conceitos no ensino de ciências*. Belo Horizonte: Editora UFMG.
- Mortimer, E.F. (1995). Conceptual change or conceptual profile change? *Science & Education*, 4(3) 23-45.
- Nakiboğlu, C. & Tekin B. B. (2006). Identifying student's misconceptions about nuclear chemistry a study of Turkish high school students. *Journal of Chemical Education*, 83(11) 1712-1718.
- Osborne, J.F. (1996). Beyond constructivism. *Science Education*, 80(1) 53-82.

- Osborne, R. & Wittrock, M. (1985). The generative learning model and its implications for science education. *Studies in Science Education*, 12(1), 59-87.
- Piaget, J. (1985). The equilibration of cognitive structures. Chicago: The University of Chicago Press.
- Pintrich, P. R., Marx, R. W., Boyle, R. A. (1993). Beyond cold conceptual change: the role of motivational beliefs and classroom contextual factors in the process of conceptual change. *Review of Educational Research*, 63(2) 167-199.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P.W., Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211-227.
- Solomon, J. (1994). The rise and fall of constructivism. *Studies in Science Education*, 23(1), 1-19.
- Venville, G. J., & Treagust, D. F. (1998). Exploring conceptual change in genetics using a multidimensional interpretative framework. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(9), 1031-1055.
- Vergnaud, G. (1996). Education: the best part of Piaget's heritage. *Swiss Journal of Psychology*, 55(2/3), 112-118.
- Vergnaud, G. (1998). A comprehensive theory of representation for Mathematics Education. *Journal of Mathematical Behavior*, 2(17), 167-181.
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4(1), 45-69.
- Xavier, A. M., de Lima, A. G., Vigna, C. R. M., Verbi, F. M., Bortoleto, G. G., Goraieb, K., Collins, C. H., Bueno, M. I. M. S. (2007). Marco da história da radioatividade e tendências atuais. *Química Nova*. 30(1), 83-91.