Ciências & Cognição 2014; Vol 19(3) 352-367 <http://www.cienciasecognicao.org> © Ciências & Cognição
Submetido em 11/07/2013 | Revisado em 22/10/2014 | Aceito em 22/10/2014 | ISSN 1806-5821 – Publicado on line em 01/12/2014

Como estudantes compreendem uma reação química? Concepções sobre um processo de combustão

How do students understand a chemical reaction? Conceptions of a combustion process

Daniela Rodrigues da Silva [a], José Cláudio Del Pino [b]

(a) Instituto Federal do Rio Grande do Sul, Campus Canoas, Canoas, RS, Brasil; (b) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil

Resumo

O presente trabalho tem por objetivo conhecer as concepções de estudantes ingressantes no ensino médio a respeito de conceitos fundamentais que caracterizam as transformações químicas. Trata-se de um estudo de caso, em que dezessete estudantes de uma instituição pública de ensino propuseram explicações para um problema sobre um processo de combustão. As respostas por eles elaboradas foram categorizadas por meio da análise de conteúdo. Foi evidenciado que os estudantes utilizam distintos modelos para interpretar o que acontece durante uma reação química e que, na maioria das situações, esses modelos constituem obstáculos para a aprendizagem dos conceitos que são objeto de estudo da química. Embora indiquem a não conservação das substâncias como critério para justificar a ocorrência de uma reação química, a não conservação da matéria e da massa estão presentes nas ideias de transmutação, desaparecimento, substituição, entre outras. Além disso, foram explicitadas confusões conceituais no emprego da linguagem científica e na representação da combustão (desenho), de modo que, ressalta-se a importância dos resultados evidenciados nesta investigação para a proposição de ações que busquem qualificar o ensino e da aprendizagem da química na educação básica.

Palavras-chave: ensino, aprendizagem, reação química; concepções dos estudantes; resolução de problemas.

Abstract

This paper aims understanding students' conceptions of fundamental concepts that characterize the chemical transformations. This is a case study in which seventeen students of the first year in a public high school proposed explanations for a problem about a combustion process. The answers given were categorized by means of content analysis. It was evident that students use different models to interpret what happens during a chemical reaction and that, in most situations, these models constitute barriers that prevent students from learning the concepts that are the object of study of chemistry. Although they mention the loss of substance as a criterion to justify the occurrence of a chemical reaction, the notion of mass and matter loss is present in the ideas of transmutation, disappearance and replacement, among others. Furthermore, conceptual misunderstandings were explicit in the use of scientific language and in the representation of combustion (drawings), so that the study emphasizes the relevance of the results found in this research to propose actions that seek to qualify the teaching and learning processes of chemistry in basic education.

Keywords: *teaching, learning, chemical reaction; students' conceptions; problem solving.*

D.R. Silva – daniela.silva@canoas.ifrs.edu.br
J.C. Del Pino – delpinojc@yahoo.com.br

Introdução

As interações que ocorrem no ambiente escolar entre professores e estudantes e entre estudantes e estudantes possibilitam que os sujeitos reconheçam, uns nos outros, características relacionadas à aprendizagem. São muitas as possibilidades que podem ser elaboradas e desenvolvidas pelo professor para buscar conhecer como os seus estudantes explicam determinados fenômenos que são ou serão estudados no espaço escolar, por exemplo, a resolução de exercícios, a apresentação de trabalhos pautados nos seus conceitos e em pesquisas, a elaboração de textos, a representação de ideias por meio de desenhos, entre outros, todos com a possibilidade de realização individual ou em grupos, de acordo com os objetivos pretendidos.

E por que é importante que o professor conheça o "como" seu estudante explica determinadas situações que são ou serão objeto de estudo? Partindo do pressuposto de que o professor é um construtor de conhecimentos, e de que o contexto escolar é um espaço científico no qual o professor pode agir com liberdade e compartilhar suas construções, sendo acolhido nas possibilidades que abre para que se possa refletir sobre questões educacionais e epistemológicas (Collares, 2003), entende-se que para criar condições para os estudantes aprenderem, o professor precisa conhecer o que o estudante já sabe. Isto é, como ele compreende determinadas situações que serão objeto de estudo, para então elaborar estratégias que permitam atender às necessidades daqueles sujeitos que constituem o grupo de estudantes com quem trabalha.

De acordo com Pozo e Gómez Crespo (2006/2009), embora, muitas vezes, as respostas dos estudantes sejam tratadas como exemplos divertidos ou chocantes, é necessário considerá-las com muita seriedade se queremos melhorar a educação científica, na medida em que não se tratam de respostas anedóticas e causais dadas por estudantes distraídos ou descuidados, mas da forma como habitualmente os estudantes entendem os fenômenos científicos.

Segundo Furió (1996), os aspectos mais gerais das concepções alternativas - termo utilizado pelo autor para denominar as concepções dos estudantes - são: os estudantes chegam para as aulas de ciências com uma série muito variada de concepções sobre os objetos e eventos naturais, sendo que muitas dessas concepções têm certa coerência interna; essas preconcepções são comuns a estudantes de diferentes meios, idades, gêneros e culturas; as concepções alternativas são persistentes e não se modificam facilmente com estratégias de ensino convencionais; estas preconcepções frequentemente apresentam isomorfismos com concepções vigentes ao longo da história do pensamento científico e filosófico; o conhecimento anterior dos estudantes interage com o que se ensina nas aulas, com potenciais consequências imprevistas na aprendizagem; a origem destas preconcepções é devida às experiências pessoais muito variadas que incluem a percepção, a cultura, a linguagem, os métodos de ensino, as explicações dos professores e os materiais educativos; bem como as estratégias didáticas, que facilitam a mudança conceitual e podem ser ferramentas eficazes para as aulas.

Assim, considerar esses aspectos pode ser uma alternativa para pensar estratégias de ensino e aprendizagem para as aulas que serão desenvolvidas com cada grupo específico de estudantes. Todavia, torna-se essencial conhecer quais as concepções dos estudantes, como forma de iniciar esse processo de construção de novos conhecimentos, tanto para o professor, que elaborará atividades em função dos resultados obtidos nos diagnósticos, quanto para os estudantes que terão oportunidades de, na ação e reflexão, aprender.

Acredita-se que os resultados obtidos com a presente investigação permitirão aos professores refletir sobre a importância de considerar as distintas ideias com que os estudantes analisam fenômenos que são foco de estudo nas aulas de química, e consequentemente, refletir também sobre as dificuldades de compreensão que essas ideias podem gerar no momento do estudo de conceitos científicos, considerados fundamentais para o entendimento de processos como as transformações químicas. Pretende-se assim, que essas reflexões comportem ações de planejamento conscientes das concepções dos estudantes e da sua relevância no processo de aprendizagem.

Este trabalho apresenta os resultados da

análise de explicações de estudantes durante a resolução de um problema sobre a queima do metano. Trata-se de uma estratégia utilizada para diagnosticar como os estudantes entendem um processo de combustão, se o caracterizam como uma reação química e quais os critérios utilizados para fundamentar suas respostas, se avaliam a conservação da matéria durante a combustão e, qual o nível de representação utilizado, por meio de um desenho, para interpretar a reação química estudada.

Para Silva e Pitombo (2006, p.23), as reações de combustão podem ser utilizadas como um tema estruturador no ensino de química, pois têm relevância científica, tecnológica e social. Porém, é importante considerar que o estudante que presta atenção exclusivamente no que se transforma, dificilmente poderá compreender o que se conserva, dificultando a compreensão das diferentes alterações que a matéria experimenta em maior ou menor grau em função das características dessa mudança. Além disso, prestam mais atenção ao estado final de uma transformação do que ao seu estado inicial, o que trará dificuldades para que eles compreendam as conservações não observáveis (Pozo & Gómez Crespo, 2006/2009).

Metodologia

Por meio de um projeto de pesquisa desenvolvido entre 2011 e 2012, no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – Campus Canoas, foi realizada uma investigação qualitativa, caracterizada como estudo de caso (Lüdke & André, 1986), tendo como voluntários dezessete estudantes da primeira série do ensino médio técnico, com idades entre 14 e 16 anos, e que terão suas identidades preservadas por meio de pseudônimos. Cabe ressaltar que estes estudantes assinaram termo de consentimento, juntamente com seus responsáveis, antes de iniciar suas participações na pesquisa. Dentre os estudantes que manifestaram a vontade de participar do projeto, foram selecionados os que apresentaram os melhores resultados nas avaliações realizadas na disciplina de química. Esse critério se fundamenta em Herron (1975) que indica que, contrariamente ao que professores preferem acreditar, as noções incorretas cientificamente não são apresentadas por estudantes que não se esforçam em aprender. Bons estudantes que fazem um esforço consciente para alcançar êxito, parecem não poder entender ideias abstratas, por não progredirem em seu desenvolvimento intelectual ao estágio das operações formais.

Para conhecer como os estudantes explicam situações envolvendo transformações químicas foram utilizadas distintas estratégias, dentre elas, a que será apresentada neste trabalho, caracterizada como uma resolução de problemas em lápis e papel, em que os estudantes responderam de forma escrita ao que foi problematizado, tendo liberdade para a explicitação de ideias sem o estabelecimento prévio de categorias de respostas. Tal estratégia foi escolhida por permitir o diagnóstico de ideias que emergiram da escrita dos estudantes durante a resolução do problema proposto. Segundo Pozo e Pérez Echeverría (1994/1998, p.16):

> "uma situação somente pode ser concebida como um problema na medida em que exista um reconhecimento dela como tal, e na medida em que não disponhamos de procedimentos automáticos que nos permitam solucioná-la de forma mais ou menos imediata, sem exigir, de alguma forma, um processo de reflexão ou uma tomada de decisões sobre a sequência de passos a serem seguidos."

Considerando os estudos de Pozo e Pérez Echeverría (1994/1998), a respeito das resoluções de problemas qualitativos abertos, em que os alunos precisam explicar ou predizer um fato através de raciocínios teóricos, baseados nos seus conhecimentos, e ainda, as características dos estudantes que participavam do projeto de pesquisa, o seguinte problema foi elaborado e apresentado aos estudantes:

> Aterros sanitários e locais de armazenamento de adubo orgânico são lugares onde ocorre a produção de metano (CH4), isso porque bactérias anaeróbias convertem o carbono em metano. A produção de metano também

ocorre no rúmen do trato gastro-intestinal dos animais ruminantes, como resultado da ação das bactérias que rompem a celulose. O metano liberado é um recurso energético desperdiçado, bem como um significativo fator que contribui com o aquecimento global. Cada molécula de metano possui 23 vezes o potencial de aquecimento global de uma molécula de dióxido de carbono (CO2). Assim, buscando diminuir a emissão de metano na atmosfera, o gás poderia ser coletado onde ele é gerado e utilizado na produção de energia. Sabe-se que na queima do metano, para a cocção de alimentos ou como combustível para máquinas agrícolas, por exemplo, cada 1g de gás produz 3,03g de dióxido de carbono. Dessa forma, a vantagem de sua utilização como combustível não é a inexistência de CO2 como um de seus produtos, mas a diminuição da emissão de metano na atmosfera, pois se utilizarmos outro combustível também estaremos liberando dióxido de carbono, e continuaremos emitindo grandes quantidades de CH4.

Com base no parágrafo acima e nos seus conhecimentos responda às seguintes questões:

1) Você considera a queima do metano uma transformação química? Por quê?
2) Como é possível que a queima do metano (constituído apenas por carbono e hidrogênio) produza dióxido de carbono (constituído por carbono e oxigênio)?
3) Você tem uma hipótese para o que acontece com os átomos de hidrogênio que estavam presentes no metano antes da queima e não estão representados na fórmula do dióxido de carbono?
4) Como você explica o fato de 1g de metano produzir 3,03g de dióxido de carbono? Qual é a origem dos 2,03g a mais desse produto?
5) Como você representaria a queima do metano utilizando um desenho?

A metodologia utilizada para análise dos resultados obtidos com a resolução de problema foi a Análise de Conteúdo (Bardin, 2009). O *corpus* da análise é composto pelas respostas elaboradas de forma escrita pelos estudantes para cada uma das quatro primeiras questões, que foram digitadas e isoladas (inventário) para posteriormente serem classificadas, de forma analógica e progressiva, em categorias segundo os objetivos propostos para cada pergunta (tabela 1).

Questões	**Objetivos**	**Categorias**
1	Diagnosticar quais os critérios utilizados pelos estudantes para caracterizar uma situação como uma reação química.	Nova substância formada
		Processo Irreversível
2 e 3	Conhecer como os estudantes analisam uma situação em que há conservação da matéria e em que não há conservação da substância.	Conservação da matéria
		Transmutação da matéria
		Desaparecimento da matéria
		Elementos são descartados
		É por que é
4	Diagnosticar como os estudantes explicam uma situação em que há conservação da massa.	Conservação da matéria
		Densidade, volume e massa
		Adição das substâncias envolvidas
		Substituição de hidrogênios por oxigênios
		Transmutação da matéria

Tabela 1 – Objetivos das questões que constituem a situação problema e categorias encontradas.

A questão cinco foi proposta para conhecer como os estudantes representam a reação química em análise, e se apresentam coerência em relação às explicações elaboradas para o que foi problematizado. Desse modo, os desenhos foram analisados um a um, e, em seguida, organizados em grupos que permitissem ampliar a compreensão a respeito das explicações elaboradas pelos estudantes, correspondentes a cada categoria.

Para análise sobre qual(is) o(s) nível(is) de representação empregado(s) na elaboração dos desenhos, considerou-se o modelo de Jonhstone (1982; 2000), segundo o qual a natureza da química compreende três formas, pensadas como vértices de um triângulo, nenhuma superior a outra, mas complementares. Essas três formas de conhecimento são: o macro e tangível: que pode ser visto, tocado ou cheirado, pelo qual nós podemos descrever as propriedades dos materiais em termos de densidade, inflamabilidade, cor e assim por diante; o submicro: átomos, moléculas, íons e estruturas, ou seja, um nível em que tentamos explicar por que as substâncias químicas comportam-se do jeito que se comportam; e o representacional: em que nós tentamos representar as substâncias por símbolos, fórmulas, equações, molaridade, manipulação matemática e gráficos.

Resultados

A seguir são apresentados os resultados da categorização organizados em três grandes grupos:

1. A combustão como uma transformação química (pergunta 1);
2. Dos reagentes aos produtos (perguntas 2 e 3);
3. Conservação da massa (pergunta 4).

1. A combustão como uma transformação química

Os dezessete estudantes identificaram a combustão como uma reação química, respondendo "sim" para a pergunta, porém suas explicações resultaram em duas categorias, conforme características exemplificadas abaixo:

1.1 Nova substância formada

Quinze estudantes classificaram a combustão como uma reação química por haver a formação de nova(s) substância(s), de modo que o critério utilizado por eles é a produção de uma substância diferente (CO_2) da utilizada na queima (CH_4), conforme informações oportunizadas pelo texto. A seguir algumas respostas que exemplificam essa categoria:

> Lauro – "Química, pois altera a estrutura da substância."
> Talita – "Sim, pois de algum jeito, ocorre produção de outra substância, o CO2, que em sua composição difere do CH4."
> Pablo – "Sim, pois há uma mudança em sua composição, formando substâncias diferentes."
> Iara – "Sim, porque na queima do metano se originou um outro produto, o dióxido de carbono, e em tão mudou sua fórmula química."suas explicações resultaram em duas categorias, conforme características exemplificadas abaixo:

1.2 Processo Irreversível

Dois estudantes utilizaram como critério a reversibilidade das reações químicas para fundamentar suas explicações:

> Camile – "Sim, pois depois de queimado ele se transforma em dióxido de carbono e não pode mais ser revertido esse processo, voltar a ser metano."
> Dalton – "Sim, pois gera uma substância que antes não existia e também não há como reverter a queima do gás."

De acordo com Lopes (1995), essa diferenciação se mostra equivocada, porque

a reversibilidade não é um critério científico de distinção dos diferentes fenômenos. Esta diferenciação conceitual padrão foi utilizada por muitos anos nos livros didáticos, e já, há alguns anos, não é mais utilizada. Porém, percebe-se que continua presente na medida em que é exposta pelos estudantes como um critério de diferenciação ensinado no ambiente escolar. Tal fato corrobora a evidência de que os professores continuam usando este critério no desenvolvimento de suas aulas no ensino fundamental, ou seja, há professores de ciências que não sabem ou não percebem que uma reação química pode ser reversível (sistema reacional em equilíbrio) ou irreversível.

2. Dos reagentes aos produtos

Nesse grupo estão as respostas das perguntas número dois e número três. Essas indagações exigiram dos estudantes uma análise que considerasse os átomos presentes nas moléculas envolvidas na combustão. As fórmulas moleculares das substâncias foram apresentadas durante o problema, o que permitiu que eles formulassem explicações utilizando o nível representacional de Jonhstone (1982, 2000). Todavia, procurava-se saber, se eles considerariam o gás oxigênio como reagente da combustão, e se examinariam o processo de forma a conservar a matéria, mantendo os mesmos elementos presentes nos reagentes e nos produtos, mas sem conservação da substância. Dessa forma, as duas perguntas têm o mesmo objetivo, com abordagens diferentes. Esta situação permite que uma mesma categoria tenha respostas compreendendo as duas perguntas. Foram evidenciadas cinco categorias que serão apresentadas a seguir.

2.1 Conservação da matéria: mesmos elementos nos reagentes e nos produtos

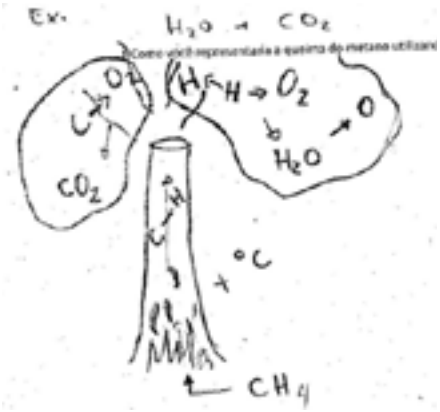
Ao responder a questão dois, oito estudantes consideraram o oxigênio do ar como reagente na reação de combustão e uma estudante considerou que o metano estará em contato com os gases do ar, justificando assim a presença do oxigênio tanto nos reagentes quanto nos produtos:

> Rodolfo – "É possível pois com a queima do metano as moléculas se dividem e essas moléculas se agrupam ao oxigênio do ar, e assim forma uma nova substância."
> Lauro – "Queima envolve oxigênio, um combustível e o que vai ser queimado. Na queima, os átomos de hidrogênio reagem com o ar e formam a fumaça, alterando a estrutura da substância, onde hidrogênio é substituído pelo oxigênio do ar."
> Bruno – "Por que durante a queima do metano, os átomos de carbono se soltam dos hidrogênios e se juntam com o oxigênio do ar."
> Diana – "Eu acho que é por causa do ambiente que ele está inserido. Pois o oxigênio está no ar, por isso depende de onde o elemento está."
> Cássio – "No momento da queima são quebradas as ligações entre C e H e estes se ligam ao oxigênio do ar formando CO_2 e H_2O"
> Pablo – "Na queima do CH_4 as estruturas da molécula são rompidas, fazendo com que essa ligação entre o carbono e o hidrogênio se desfaça. Logo, o carbono em contato com o ar liga-se com o oxigênio, assim, CO_2."
> Dalton – "Talvez a reação com o oxigênio da atmosfera, o metano e alta temperatura resulte em CO_2. Provavelmente a temperatura quebre as ligações entre os átomos e estes se liguem a outros (oxigênio da atmosfera com carbono)."
> Bárbara – "Por que quando ocorre a queima, o metano (constituído por C e H) entra em contato com o oxigênio, sofrendo uma reação química e produzindo o dióxido de carbono."
> Magali – "Provavelmente o CH_4 ao entrar em contato com a atmosfera (que possui outros gases) será alterada a sua composição para CO_2 através de algumas reações químicas."

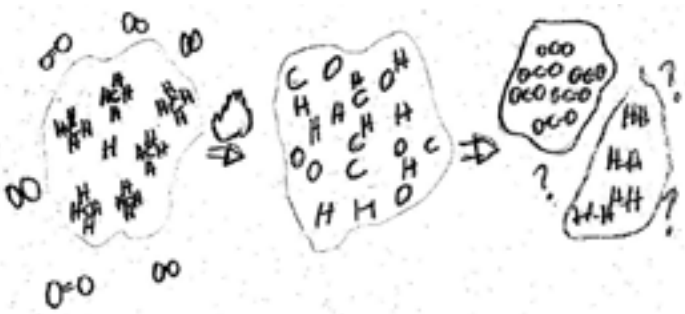
Percebe-se nessas explicações dos estudantes um modelo para explicar a conservação da matéria durante a reação, de modo que conceitos estudados nas aulas de ciências e/ou química são utilizados para justificar a interação entre os átomos e a reorganização destes na constituição de novas substâncias. O estudante Dalton atribui à temperatura alta o rompimento das ligações químicas, mostrando confusões quanto à diferenciação dos conceitos energia e temperatura.

Analisando os desenhos representados na figura 1, percebe-se que os estudantes Pablo, Bruno e Lauro conseguem empregar representações

condizentes com suas explicações na medida em que utilizam os símbolos dos elementos químicos para representar moléculas, ligações entre os átomos, rompimento de ligações e formação de novas ligações, demonstrando a reação como um processo, onde há reagentes e produtos. Pablo mistura aspectos do macroscópico (chaminé e fumaça) e do representacional (símbolos dos elementos), já Bruno utiliza o macro (desenho do fogo), o representacional (processo na forma de equação química) e o submicro, na medida em que desenham o processo, com rompimento e formação de ligações entre os átomos envolvidos. Lauro representa a substituição dos hidrogênios pelos oxigênios, com rompimento e formação de ligações (nível submicroscópico).



Pablo



(b) Bruno

(c) Lauro

Figura1 – Desenhos do Pablo, Bruno e Lauro representando a queima do metano, com a representação do oxigênio na transformação.

Ao responder a questão três, seis estudantes propõem que os átomos de hidrogênio tenham reagido com outros elementos e se transformado em uma nova substância. Cinco deles estão presentes nesse mesmo grupo ao responder a questão dois. Há, no caso do estudante Lauro, a confusão entre o termo "misturar" e "reagir". De acordo com Rosa (1996, p. 40), "a ideia de mistura aparece como a concepção mais simplista de transformação química, já que para os alunos, sempre que dois materiais forem misturados ocorrerá uma transformação química.".

> Lauro – "Se misturam, ou se juntam aos átomos de oxigênio presentes no ar e formam algum tipo de substância na forma gasosa."

Cássio – "Se ligam com o oxigênio do ar e formam vapor de água."
Iara – "Sim, que como a ligação foi rompida então o carbono se ligou com o oxigênio e deixou de pertencer à molécula de hidrogênio, e a partir daí o hidrogênio ter feito novas ligações."
Pablo – "Os átomos de hidrogênio, depois da desestruturação da molécula, liberam-se e entram em contato com o ar, ligando-se com o O2, formando moléculas de água."
Dalton – "Após a reação, talvez se misturem novamente com a atmosfera criando ligações com as formas de gás da atmosfera (oxigênio)."
Bruno – "Pode ser possível que os átomos de hidrogênio formem H2 durante a queima."

O desenho de Cássio (figura 2) demonstra

coerência com suas explicações anteriores. Esse estudante explica a combustão como uma reação química em que há rompimento das ligações entre os átomos que constituem os reagentes e formação de novas ligações entre esses mesmos átomos para formar os produtos (aspectos do submicro). Ele utiliza os símbolos químicos e a estrutura de uma equação química, ampliando a explicação anterior com a informação referente a liberação de energia durante o processo de combustão (aspectos do representacional).

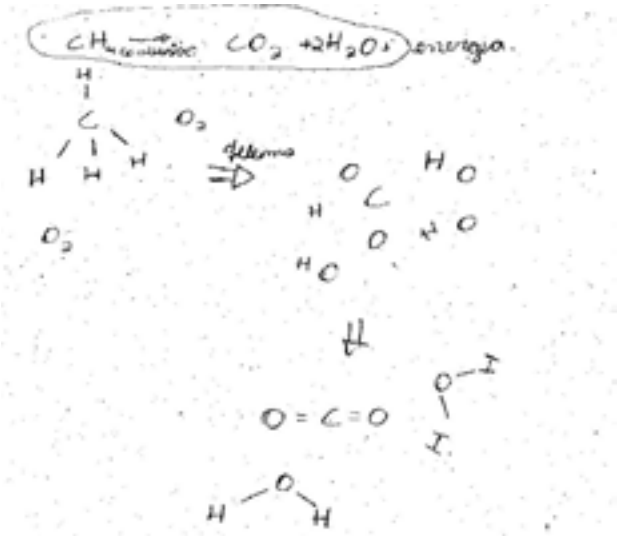


Figura 2 – Desenho do estudante Cássio para a queima do metano

2.2 Transmutação da matéria: um elemento se transforma em outro

Quatro estudantes apresentam como resposta para a pergunta dois, a hipótese de ter ocorrido uma "transmutação" na qual, por aquecimento ou pela ação do fogo, considerado um reagente pela estudante Camile, um elemento se transforma em outro. Esse tipo de ideia é caracterizado por Andersson (1986) como sendo o tipo de explicação que representa uma série de transformações "proibidas" na química. Para esse autor, a ideia de transmutação pode ser apresentada pelos estudantes, quando, por exemplo, eles pensam que a energia é transformada em substância (Andersson, 1990).

> Edith – "Pois o aquecimento faz com que sua composição mude."
> Talita – "Um elemento deve reagir com o outro no momento da queima, tendo como produto o oxigênio que não se tinha."
> Camile – "Pois para queimá-lo se utiliza fogo que é outra substância e que modifica o metano."
> Fabrício – "Pois após a queima de CH_4, o hidrogênio se transforma em oxigênio, e há também, uma diminuição no número de átomos. $CH_4 = CO_2$."

A compreensão de que uma dada substância, no caso o metano, pode ser transmutado em uma substância completamente nova é retomada por Talita, Camile e Fabrício no desenho (figura 3). Observa-se que Fabrício utiliza aspectos da forma representacional, ou seja, uma reação química por meio de uma equação, com reagente e produto, empregando os símbolos dos elementos para representar as moléculas, tendo a queima como o momento da transmutação de um elemento em outro. Cabe ressaltar que Talita utiliza perspectivas do macroscópico (recipiente e fogo), do submicro (moléculas ou átomos como pequenas esferas) e do representacional (símbolos) ao mesmo tempo e mostra que, para ela, a combustão é um aquecimento que promove o choque entre as moléculas de metano produzindo CO_2. Camile, assim como na formulação da resposta, mostra no desenho o fogo como uma substância reagente (macroscópico) que modifica as moléculas de metano em gás carbônico (apresentados no formato de gotas e com as fórmulas químicas).

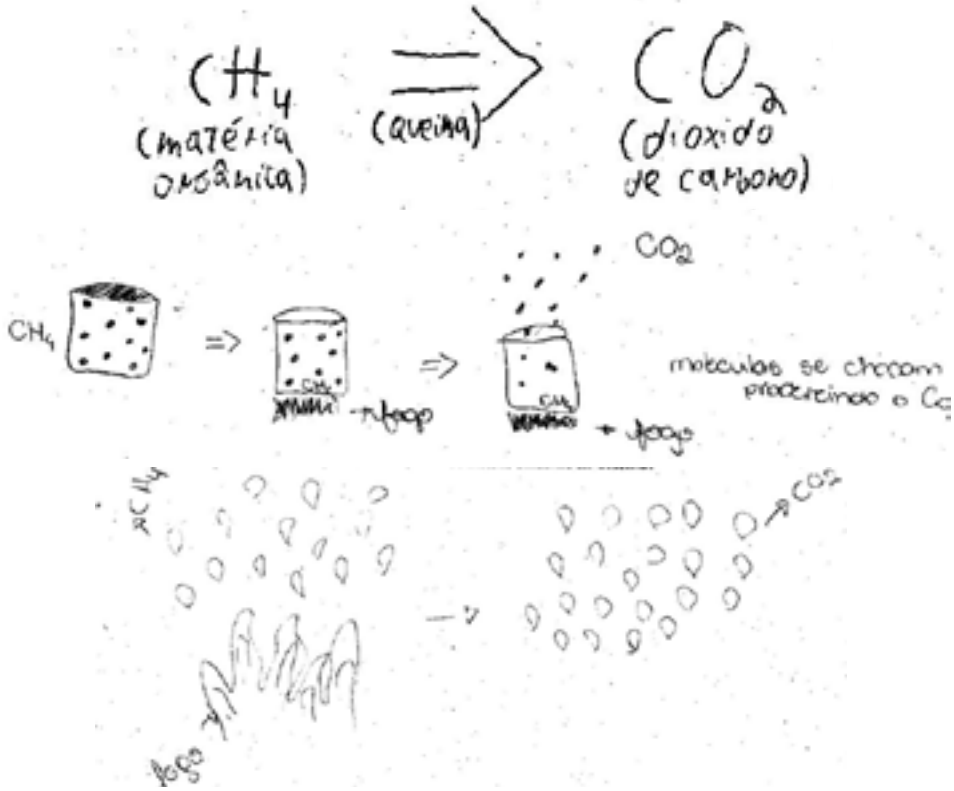


Figura 3 – Desenhos de Fabrício, Talita e Camile representando a queima do metano

Para responder à questão três, novamente cinco estudantes utilizaram hipóteses que demonstram a ideia de transmutação, sendo que Camile e Fabrício reforçam a ideia apresentada anteriormente na resposta para a pergunta 2.

> Camile – "Elas (moléculas de hidrogênio) são queimadas, assim se transformam em oxigênio.
> Julian – não tenho muita certeza, porém acredito que o hidrogênio dá origem ao oxigênio, onde cada átomo de hidrogênio resultar em outro átomo de oxigênio."
> Fabrício – "Eu tenho, talvez, não tenho certeza se minha resposta tem sentido: talvez com a queima do CH4, o hidrogênio entra em contato com a fonte de energia (calor) ele se "conserva" (há uma transformação) e ele vire oxigênio."
> George – "Foram queimados na combustão, gerando uma nova substância."
> Diana – "Eu acho que o hidrogênio em contato com uma certa substância se transformou em uma outra coisa, que não é hidrogênio."

2.3 Desaparecimento da matéria: hidrogênios desaparecem durante a reação

Para a terceira pergunta, dois estudantes indicam, de formas diferentes, o desaparecimento dos átomos de hidrogênio.

> Rodolfo – "Como o hidrogênio é queimado ele some, então o oxigênio entra na molécula."
> Olga – "Os átomos de hidrogênio evaporam."

A estudante Olga, ao utilizar "evaporam", está desconsiderando que o metano já estava no estado gasoso ou, para ela, evaporar é sinônimo de desaparecer. Hipótese esta que parece mais provável. Ideias semelhantes já foram encontradas nas pesquisas de Andersson (1986, 1990) e caracterizadas por ele como "desaparecimento", ou seja, a concepção de que durante a transformação química ocorre o mero desaparecimento de alguma(s) substância(s).

Na figura 4, Rodolfo desenha as moléculas de metano com o compartilhamento de elétrons entre os átomos. Da mesma forma, quando representa o gás carbônico, usa a estrutura de Lewis para mostrar os elétrons compartilhados em cada ligação (representacional). E mesmo tendo considerado a presença do O_2 do ar na reação, na resposta anterior, seu desenho retrata o "desaparecimento" dos átomos de hidrogênio e o "surgimento" dos átomos de oxigênio por meio de um processo que tem como meio o fogo (aspectos do macroscópico).

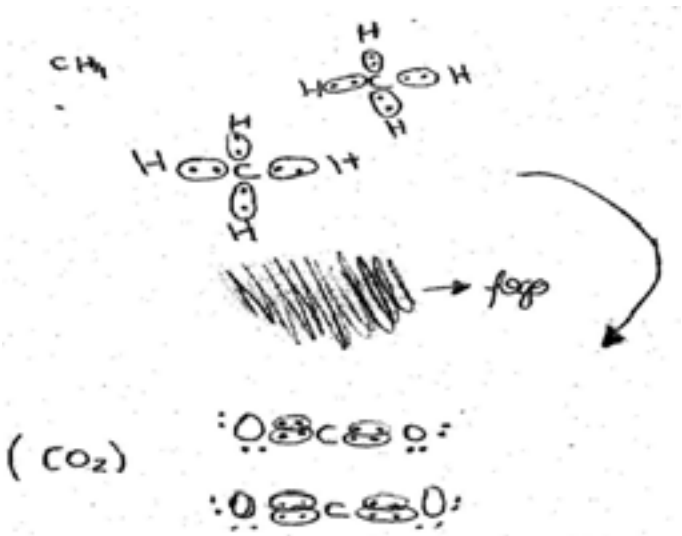


Figura 4 – Desenho de Rodolfo para a queima do metano.

2.4 Elementos são descartados: os hidrogênios são liberados durante a reação

Três estudantes, ao responder às perguntas dois e três, expressam que os hidrogênios ficariam livres ou seriam descartados, pois eram reagentes. Isso não significa que teriam de estar presentes nos produtos. Dessa forma, indicam um entendimento confuso em relação ao processo analisado, sugerindo a não conservação da matéria nas reações químicas.

> Iara – "É que na queima do metano o hidrogênio foi liberado $CH_4 = CO_2$."
> Barbara – "No momento da queima o hidrogênio se espalha no ar."
> Magali – "Com o compartilhamento de elétrons entre os átomos de C (z=4) e os átomos de O (z=6), o H(z=1) não deve ter compartilhado nenhum elétron ficando "solto" nessa reação."

A figura 5, que apresenta os desenhos de Magali e Talita, auxilia a compreensão de como essas estudantes entendem o processo de combustão. Magali utiliza as fórmulas moleculares do metano e do gás carbônico (representacional) como forma de localizá-los "antes" e "depois" do processo descrito no problema. Assim, evidencia-se que a estudante não consegue formular uma explicação para o "como" a reação química ocorre e, assim, utiliza aspectos macroscópicos que "expõem" o retrato do que foi descrito no problema. Bárbara, diferentemente da explicação que formulou para a resposta da pergunta dois, desconsidera o oxigênio no seu desenho e utiliza o modelo de equação química (representacional) em sua representação - um processo em que o metano produz gás carbônico.

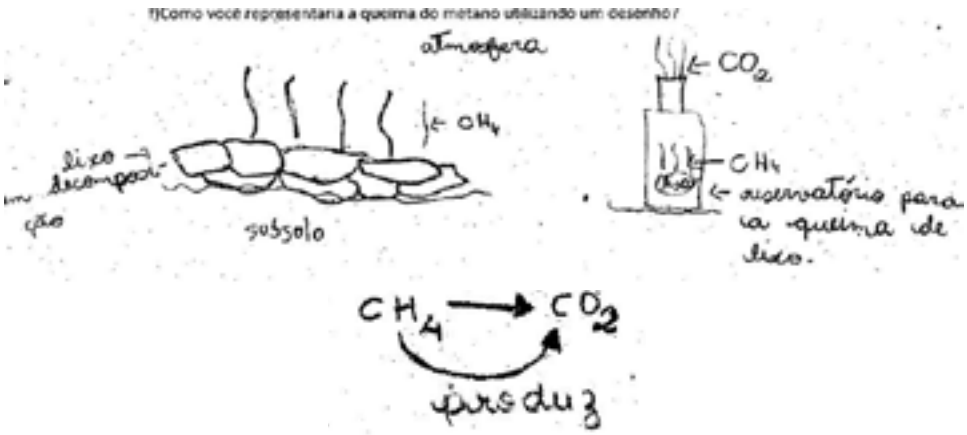


Figura 5 – Desenhos de Magali e Bárbara para representar a queima do metano

2.5 É por que é: os relatos já são suficientes para explicar os fatos

O fato do processo ter sido caracterizado como transformação química, ou seja, saber que a composição do produto é diferente da do reagente é informação suficiente para a explicação da pergunta dois. Andersson (1986, p. 551) chama de "It is just like that", ou seja, "é assim", simplesmente não é possível entender e explicar tudo. Essas são explicações fundamentadas pelo realismo ingênuo (Pozo & Gómez Crespo, 2006/2009), ou seja, as coisas são de certa forma porque são assim e ponto.

> Julian – "Creio que isto é possível pois há uma transformação química neste composto ao ser queimado."
> George – "Pois ocorre uma transformação química após a combustão."

Uma estudante utilizou como explicação o fato do CO_2 ser menos poluente, demonstrando que ela não entendeu a pergunta ou, para ela, o propósito da reação se justifica por si só:

> Olga – "É possível pois o metano liberado é um recurso energético desperdiçado, o que contribui para o aquecimento global e possui 23 vezes o potencial do CO_2."

A estudante Talita também simplificou bastante sua resposta para a questão três ao formular sua hipótese para o que acontece com os átomos de hidrogênio durante a combustão:

> Talita – "Eles eram reagentes na hora da queima do metano."

Uma estudante escreveu não ter hipótese para responder a pergunta dois, o que pode demonstrar insegurança em expressar suas ideias ou somente a falta de motivação em elaborar alguma explicação. Assim como, para o desenho, ela optou por não fazer.

> Edith – "Não."

3. Conservação da massa

Para a questão número quatro, buscou-se uma situação em que o estudante pudesse expressar suas ideias quanto à conservação da matéria a partir de uma análise quantitativa em massa para identificar se as noções apresentadas nas perguntas anteriores continuam sustentando as explicações quando estas estão vinculadas a uma expressão de quantidade. As respostas resultaram em 5 categorias, conforme apresentado a seguir.

3.1 Conservação da matéria

O estudante Dalton explica o processo que envolve a transformação química, conservando os elementos presentes nos reagentes e produtos, mas diferentemente do estudante Cássio, não formula explicações para a conservação da massa.

> Dalton – "A própria atmosfera onde o oxigênio é abundante como o hidrogênio se separa do gás resultante apenas o oxigênio se liga ao carbono, cada molécula de CH4 que queima, gera 4 H e o C se une a 2 Oxigênios."

3.2 Densidade, volume e massa

Três estudantes utilizam explicações que expressam confusões entre os conceitos de massa, volume e densidade:

> Rodolfo – "Penso que a maioria da molécula do dióxido de carbono, seria composta por oxigênio, e também que seria uma molécula maior, por causa disso, mais densa."
> Pablo – "Queima CH_4 – 1g em contato com o ar - C H O_2 --- H_2O + CO_2 compostos químicos com densidades maiores, assim a cada C liberado, o resultado terá maior quantidade."
> Edith – "O volume de carbono é maior."

De acordo com estudos realizados por Piaget e Inhelder (1983), em relação ao desenvolvimento das quantidades físicas na criança: "O peso aparece, pois, de saída, como uma qualidade concreta característica da matéria, enquanto que o volume é uma abstração, desde que ele não é mais solidário da quantidade

aparente da substância" (Piaget & Inhelder, 1983, p.338). Cabe ressaltar que estes autores utilizam o termo "peso" para a noção de massa abordada neste trabalho.

Para Delval (1997), até os 9 anos, a criança não admitirá constância no peso e somente por volta dos 11 anos é que compreenderá que o volume não se modifica ao modificar-se a forma e que este é independente do peso. Além dessas, são muitas as noções que a criança tem que adquirir e construir durante o seu desenvolvimento, porque tais noções não são diretamente extraídas da experiência, nem ensinadas na escola, mas construídas na medida em que a criança vai lidando com os objetos, através da coordenação de suas ações.

Ainda, segundo este autor, os erros persistem durante muito tempo, mais até do que o verificado por psicólogos em experimentos de laboratório, indicando que estudos realizados com alunos entre a sexta e oitava série, sobre a explicação de fenômenos físicos cotidianos, revelam uma grande quantidade de crenças errôneas sustentadas pelos alunos.

Segundo Herron (1975), qualquer conceito que envolve razão é extremamente difícil para muitos estudantes; densidade, velocidade, entre outros. Os estudantes são capazes de memorizar um algoritmo para realizar cálculos numéricos destas grandezas, mas parecem ter uma limitação de compreensão da ideia que os torna incapazes de aplicar o conceito para qualquer problema diferente daqueles analisados em aula.

3.3 Adição das substâncias envolvidas

A estudante Bárbara explica que o metano, ao se juntar com o oxigênio do ar, aumentará de massa, o que remete a uma ideia de que todas as substâncias presentes nos reagentes resultarão em gás carbônico. A resposta dessa estudante desconsidera o hidrogênio entre os produtos e indica que uma substância irá "sofrer uma reação química". Portanto, para ela, a reação química não compreende a interação entre substâncias (reagentes), mas a ação de uma substância específica, ou seja, um "agente ativo" que atua sobre um "agente passivo" (Mortimer & Miranda, 1995). Uma leitura das respostas anteriores de Bárbara possibilita o diagnóstico das mesmas ideias (resposta para a questão 2) e a explicação para os hidrogênios como sendo liberados no ar (resposta para a questão 3).

> Bárbara – "O metano quando queima irá sofrer uma reação química e se juntar ao oxigênio do ar, juntando-se o metano produz 3,03g de dióxido de carbono."

3.4 Substituição de Hidrogênios por Oxigênios

Cinco estudantes focam apenas na fórmula do metano e do gás carbônico para comparar as massas, desconsiderando os demais envolvidos na reação. A justificativa da maior massa do gás carbônico é a presença do oxigênio, um átomo com massa maior que a do hidrogênio. Percebe-se uma análise restrita e que não considera a conservação da massa e/ou matéria durante a reação química.

> Fabrício – "Por que o metano tem um número x de massa (1g) e o dióxido de carbono tem uma massa y que é superior a x. E o único elemento diferente é o oxigênio, então pressuponho que é por causa da diferença entre as massa de H e O." (SIC)
> Bruno – "A origem talvez seja do gás oxigênio que tem uma massa maior do que a do hidrogênio."
> Talita – "Deve ser por que o dióxido de carbono tem mais massa, os 2,03g a mais, são decorrentes do oxigênio que não tinha antes." (SIC)
> Cássio – "Estes 2,03g provém do oxigênio do ar que se liga aos átomos de carbono, e como a massa de oxigênio é muito maior que a massa de hidrogênio ocorre um grande aumento de massa da nova molécula."
> Lauro – "Átomos de oxigênio tem mais massa que átomos de hidrogênio, que na queima são liberados."

3.5 Transmutação da matéria: um elemento se transforma em outro

Novamente, alguns estudantes expressam compreensões baseadas na transmutação da matéria, conforme já foi verificado anteriormente. Para Mortimer e Miranda (1995), é comum que o estudante recorra a uma espécie de transmutação para explicar a transformações químicas, utilizando ideias como a de que um tipo de substância pode ser transmutado em outra, ou ainda, de que a matéria pode ser transmutada em energia.

> Diana – "Eu acho que é porque com o contato com o fogo ou alguma coisa assim, o hidrogênio se transforma e forma uma outra substância que resulta na 2,03 g a mais de CO2."
> Camile – "Durante a queima é acrescentado o fogo, que pode originar 2,03g."
> Julian – "Cada átomo de hidrogênio, em meu pensamento, resulta em outro de oxigênio, sendo assim, o metano possui 4 átomos de hidrogênio e o CO2 apenas 2 oxigênios. Possibilitando assim esta maior quantidade de dióxido de carbono ao se queimar o metano."
> George – "A origem vem do hidrogênio que depois de queimado libera dióxido de carbono, pois durante a queima é liberado uma quantidade maior de energia que acaba gerando uma maior massa após a combustão."
> Olga – "O metano em 1g produz 3,03g de CO2, produz menos."
> Magali – "Como uma reação deve ter ocorrido um 'aumento' na massa dessa substância o produto final, consequentemente, também teve um aumento."

O desenho do estudante Julian, apresentado na figura 6, caracteriza-se pelo retrato do modelo por ele utilizado nas suas respostas. Para ele, a reação química corresponde a uma transmutação, na qual o hidrogênio se transforma em oxigênio e essa ideia fundamenta todas as suas explicações, inclusive para justificar as variações na massa, como nesse último caso. Da mesma forma, George concebe a transmutação do hidrogênio em dióxido de carbono que, segundo ele, é liberado. Já o estudante Dalton utiliza um desenho no qual o hidrogênio também faz parte dos produtos e, embora não represente em seu desenho o oxigênio como reagente, sua explicação considera a sua presença na atmosfera para formação do gás carbônico. Esse estudante não consegue elaborar argumentos para a conservação da matéria de forma quantitativa, mas não fundamenta suas explicações na transmutação, embora uma análise isolada do desenho possa evidenciar isso. Os três desenhos apresentam uma mistura de formas do macro com o representacional.

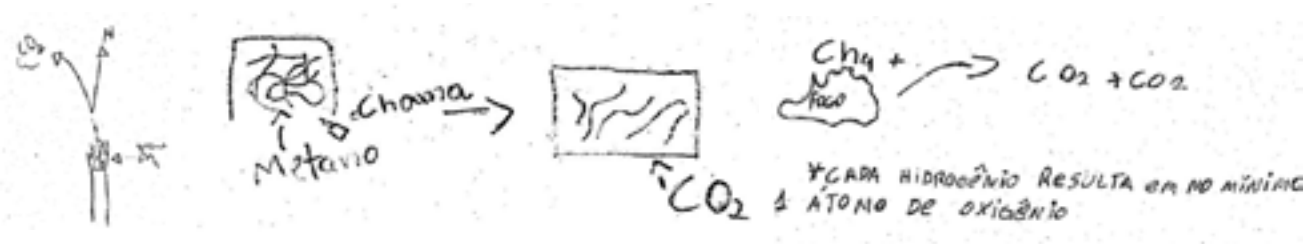


Figura 6 – Desenho de Dalton, George e Julian, respectivamente, para representar a queima do metano.

Uma estudante (Iara) não respondeu.

Os desenhos das estudantes Iara e Olga (figura 7) mostram que, assim como nas respostas elaboradas para as perguntas anteriores, as estudantes utilizam uma abordagem pautada, exclusivamente, em aspectos de nível macroscópico. As análises da combustão se limitam ao perceptível, sem qualquer contribuição de outras formas relacionadas com conceitos de ciências que possam ter sido estudados anteriormente. Essas estudantes não conseguem elaborar modelos abstratos para a transformação química problematizada. Com características parecidas, mas com maiores detalhamentos, o desenho de Diana (figura 7) mistura formas geométricas (triângulos, quadrados, círculos) entre o lixo, as nuvens (céu), a chama (fogo) e a fumaça para caracterizar diferentes substâncias como hidrogênio, metano e CO_2 (única utilizando a linguagem química – representacional).

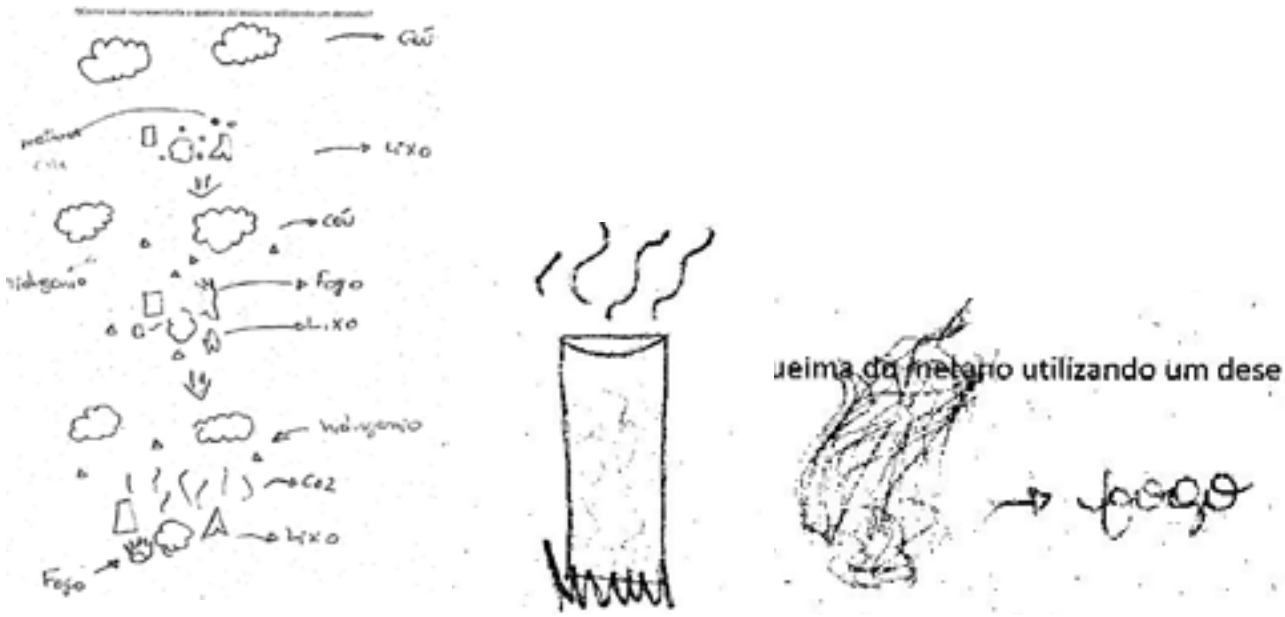


Figura 7 – Desenhos das estudantes Diana, Iara e Olga representando a queima do metano.

Discussão

Considerando-se os resultados apresentados, percebeu-se a diversidade de características nos modelos mobilizados pelos estudantes para explicar o que foi problematizado. No que diz respeito à utilização das informações oferecidas pelo parágrafo inicial, constatou-se que a presença das fórmulas moleculares do metano e do gás carbônico (nível simbólico) permitiu aos estudantes caracterizar, com maior segurança, o processo de combustão como uma reação química, pois eles conseguiam identificar que após a queima havia a formação de uma substância, diferente da inicial. Assim, este critério, provavelmente estudado anteriormente, foi facilmente aplicado. No entanto, as explicações formuladas para justificar as respostas elaboradas pelo problema mostraram que, para esses estudantes, identificar a formação de novas substâncias nos produtos não garante a compreensão do processo que envolve uma reação química. Isso porque a maioria dos estudantes desconsiderou a interação entre as partículas que constituíam os reagentes para formação de produtos, assim como a conservação da matéria na elaboração de suas explicações.

Na análise das respostas que constituem as categorias evidenciadas pelas explicações dos dezessete estudantes participantes do estudo de caso, percebe-se que, embora todos tenham caracterizado a combustão como uma reação química, há oito estudantes que acreditam na possibilidade de, durante a reação química de combustão, um elemento químico se transformar em outro elemento diferente, ou seja, para eles a conservação da matéria não é considerada para avaliar o processo. Há, todavia, cinco estudantes que ponderam, em todas as suas respostas, a conservação da matéria durante o processo, mostrando, inclusive nas representações por meio dos desenhos, que os átomos não desaparecem, surgem ou se transformam ao participarem da reação química. Há também quatro estudantes que não se enquadram em nenhum desses casos anteriormente citados, são eles: Rodolfo, Bárbara, Magali e Iara. Estes não apresentam coerência entre as respostas elaboradas para as quatro perguntas, mostrando uma mistura de ideias, com erros conceituais importantes quando da utilização da linguagem científica, revelando a compreensão inadequada de conceitos, provavelmente estudados durante as aulas de ciências e/ou química, e que podem ser caracterizados como obstáculos para a aprendizagem de conceitos cientificamente aceitos.

Por sua vez, no caso das respostas para a quarta pergunta, relativa à conservação da massa, nenhum dos dezessete estudantes conseguiu elaborar uma explicação que relacionasse a conservação da matéria e a conservação da massa como características da combustão. Este fato pode ter relação com a dificuldade de perceber que as mudanças observadas nas transformações

químicas são consequência de rearranjo de átomos, o que leva estudantes a não usarem adequadamente o raciocínio de conservação de massa (Mortimer & Miranda, 1995).

Dentre os obstáculos para a aprendizagem presentes nas elucidações dos estudantes, mesmo em grupos e/ou categorias diferentes, ressalta-se: a identificação do fogo como um reagente da combustão ou como responsável pela transmutação do hidrogênio em oxigênio; a indiferenciação entre moléculas e átomos; misturar e reagir como sinônimos; reagente ativo e passivo; evaporar como sinônimo de desaparecer; entre outras ideias que, ao não serem problematizadas e modificadas, limitarão o entendimento dos conteúdos que serão objeto de estudo ao longo de todo o ensino médio.

A análise dos desenhos, empregada para ampliar o diagnóstico a respeito das concepções dos estudantes sobre o processo de combustão, permitiu perceber que muitos deles não têm consciência a respeito das diferenças entre os níveis macroscópico, simbólico e submicroscópico, utilizando essas diferentes formas de representação em um mesmo nível. Pozo e Gómez Crespo (2006/2009) ressaltam que os conceitos e as leis que compõem as teorias científicas não estão na realidade, senão que são parte dessas mesmas teorias e, se isso não está claro para professores e estudantes, leva-os a confundir os modelos com a realidade que eles representam.

Assim, entende-se que os resultados encontrados com a presente pesquisa permitem ressaltar a importância do diagnóstico que leva a conhecer as concepções dos estudantes, para que estas se tornem conteúdo a ser considerado por professores na elaboração das aulas de ciências e de química. Neste sentido, destaca-se a relevância da divulgação de investigações como esta, pois embora haja um grande número de pesquisas sobre o tema desde as décadas de 80 e 90, parece que estas não estão sendo objeto de reflexão por parte dos professores para modificar o ensino e a aprendizagem praticados na educação básica, na medida em que ideias muito semelhantes aos anteriormente encontrados continuam sendo evidenciadas na atualidade.

Entende-se que o professor que considera as concepções de estudantes na elaboração das aulas poderá, por meio de estratégias didáticas, criar condições para que todos os envolvidos nos processos de ensinar e aprender possam construir conhecimentos novos e, assim, reelaborar suas teorias a respeito da realidade que os cerca, na medida em que as necessidades do grupo serão contempladas. Quando se indica todos os sujeitos, contemplam-se tanto os estudantes que terão a oportunidade de refletir sobre suas próprias ideias, reelaborando-as, quanto os professores que estarão, por meio da docência e da pesquisa constante, organizando formas de interação entre teoria e prática.

Referências Bibliográficas

Andersson, B. (1986). Pupils' Explanations of Some Aspects of Chemical Reactions. *Science Educacion*. 70 (5), 549 – 563.

Andersson, B. (1990). Pupils' Conceptions of Matter and its Transformations (age 12-16). *Studies in Science Education*, 18, 53-58.

Bardin, L. (2009). *Análise de Conteúdo*. Lisboa: Edições 70, LTDA.

Collares, D. (2003). *Epistemologia Genética e Pesquisa Docente. Estudo das ações no contexto escolar*. Lisboa: Instituto Piaget.

Delval J. (1997). *Aprender a aprender*. Campinas: Papirus.

Furió, C. J. (1996). Las concepciones alternativas del alumnado em ciencias: dos décadas de investigació. Resultados e tendências. Alambique. *Didáctica de las ciências experimentales*, 7, 7-17.

Herron, J.(1975). *Piaget para químicos*. 1995. Retirado em 26/03/ 2012, no http://www.iq.ufrgs.br/aeq/producao.htm, em 26/03/ 2012.

Johnstone, A.H. (1982). Macro and microchemistry. *The School Science Review*, 377 – 379.

Johnstone, A. H. (2000). Teaching of Chemistry – Logical or Psychological? *Chemistry Educacion:*

Research and Practice in Europe, 1, 9 – 15.

Lopes, A. R. C. (1995). Reações Químicas: fenômeno, transformação e representação. *Revista Química Nova na Escola*, 2,.7-9.

Lüdke, M.; André, M. E. D. (1986). A. *Pesquisa em educação: abordagens qualitativas*. São Paulo: EPU.

Mortimer, E. F.; Miranda, L. C. (1995). Transformações: concepções de estudantes sobre reações químicas. *Revista Química Nova na Escola*, 2, 23-26.

Piaget, J. Inhelder, B. (1983). *O desenvolvimento das quantidades físicas na criança*. Rio de Janeiro: Zahar Editores.

Pozo, J. I.; Pérez Echeverría, M.D.P. (1998). Aprender a Resolver Problemas e Resolver problemas para aprender. In: POZO, J. I (Ed.). *A Solução de Problemas. Aprender a resolver, resolver para aprender* (pp.13-41). Porto Alegre: Artmed (original 1994).

Pozo, J. I.;Gómez Crespo, M. A. (2009). *A aprendizagem e o ensino de ciências*. *Do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico*. Porto Alegre: Artmed (original 2006).

Rosa, M. I. F. P. S. (1996). *A evolução de ideias de alunos de 1º ano do ensino médio sobre o conceito de transformação química numa abordagem construtivista*. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Educação da Unicamp, 1996, disponível em: http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000105290&fd=y, acesso em 11 de setembro de 2012.

Silva, M. A. E.; Pitombo, L. R.M. (2006). Como os alunos entendem queima e combustão: contribuições a partir das representações sociais. *Revista Química Nova na Escola*, 23, 23-26.