

## **A organização da ciência Química na visão de graduandos: um estudo utilizando mapas estruturais**

**Paola Corio, Flavio Antonio Maximiano, Paulo Alves Porto e Carmen Fernandez**

Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil. E-mails: [paola@iq.usp.br](mailto:paola@iq.usp.br); [famaxim@iq.usp.br](mailto:famaxim@iq.usp.br); [palporto@iq.usp.br](mailto:palporto@iq.usp.br); [carmen@iq.usp.br](mailto:carmen@iq.usp.br).

**Resumo:** O aumento no conhecimento químico representa um desafio para educadores em química. De maneira geral, cursos de graduação em química organizam essa grande quantidade de conteúdo em torno das cinco tradicionais áreas dessa ciência (química analítica, química inorgânica, química orgânica, físico-química e bioquímica). Os conteúdos são normalmente apresentados de maneira independente, cabendo ao estudante a tarefa de estabelecer relações e compreender as conexões entre os conceitos. O objetivo deste trabalho é investigar as concepções de alunos de graduação em química a respeito das interrelações entre as diferentes áreas da química. O estudo envolveu representações gráficas baseadas nos mapas conceituais – que aqui foram denominadas mapas estruturais – os quais foram analisados sob o enfoque das áreas contextuais (Goedhart, 2007). Concepções a respeito de como o ensino de química se relaciona com as demais áreas da química também foram analisadas. Os resultados sugerem que um número significativo de alunos apresenta dificuldades em expressar a química como um conjunto integrado de conhecimentos. De maneira geral, os alunos reproduzem a divisão da química nas suas cinco áreas tradicionais. Foi também observado que a estrutura curricular influencia fortemente a maneira pela qual os estudantes entendem as relações entre as áreas da química.

**Palavras-chave:** currículo de química de graduação, ensino de química, áreas da química; mapas estruturais.

**Title:** The organization of Chemical science as conceived by undergraduate students: a study using structural maps.

**Abstract:** The increase of chemical knowledge presents a challenge to chemical educators. In general, undergraduate courses in chemistry organize this large amount of subjects around the five traditional areas of this science (analytical, inorganic, organic, physical chemistry and biochemistry). Their contents are usually presented independently, leaving to the student the task of making links and understanding connections between them. The aim of this paper is to investigate undergraduate chemistry students' conceptions about the interrelations among the several areas of chemistry. The study was made by means of modified concept maps (which were called structural maps), analyzed in the light of the context areas proposed by Goedhart (2007). Conceptions about how chemical education relate to other areas of chemistry were also investigated. Results suggest that a significant number of students have

problems in expressing chemistry as an integrated body of knowledge. In general, students reproduced the division of chemistry in its five traditional areas. It was also observed that the curricular structure strongly influences how students conceive the relations among the areas of chemistry.

**Keywords:** undergraduate chemistry curriculum, chemical education, areas of chemistry; structural maps.

### **Introdução**

A investigação apresentada neste trabalho originou-se da preocupação em verificar se os alunos de graduação em química estão conseguindo integrar entre si os conhecimentos aprendidos em diferentes disciplinas. Em outras palavras, visamos investigar se, ao longo do curso, os alunos enxergam relações entre as diferentes áreas e sub-áreas da química, constituindo um corpo integrado de conhecimentos, ou se os alunos entendem o curso de graduação em química como uma reunião de disciplinas com relações tênues entre elas.

Nas últimas décadas, a química vem experimentando importantes avanços em termos de seus limites e possibilidades. As instituições de ensino se vêem diante do desafio de oferecer aos alunos formação atualizada, diante do crescimento exponencial da informação química disponível, fenômeno que também ocorre em outras áreas da ciência (Gilbert, 2006). Isso se reflete, por exemplo, em discussões sobre a estrutura curricular dos cursos de química (Zucco, 2004 e 2005), que em muitas instituições é periodicamente revista. Anterior às discussões curriculares, porém, colocam-se questões sobre a própria natureza do conhecimento químico, sua organização e suas interações com outras áreas do conhecimento. No início da década de 1970 alguns autores (Hammond e Nyholm, 1971) já apontavam a inadequação da tradicional estrutura da química na descrição do que constitui essa ciência:

A clássica estrutura de química orgânica, inorgânica e físico-química, que tem determinado amplamente como a química é ensinada, cada vez mais falha em refletir o que de fato é feito na química (Hammond e Nyholm, 1971, p. 9).

Em um artigo recente (Goedhart, 2007) argumenta-se que, apesar das recentes mudanças curriculares e inserção de novas abordagens para o ensino, ainda prevalece nos EUA e na Europa a subdivisão da química em cinco áreas (química analítica, inorgânica, orgânica, físico-química e bioquímica). Goedhart atribui a persistência dessa estrutura a dois fatores principais. O primeiro deles é a organização institucional das Universidades, que se estrutura em departamentos e grupos de pesquisa. Considerando uma universidade que se constituiu como uma eficiente organização de pesquisa, a contratação de seus docentes estará voltada para possibilitar a investigação daquilo que é considerado relevante do ponto de vista da pesquisa. Como consequência, esse ponto de vista irá se refletir também sobre os planejamentos de ensino elaborados pelo corpo docente. Eventualmente, mudanças na organização do corpo docente podem resultar em mudanças curriculares nos cursos de graduação; no entanto, considerando que o corpo docente tende a conservar um determinado perfil

característico da instituição ao longo dos anos, o mais comum é que sua organização se constitua em um fator a dificultar as inovações curriculares. O segundo fator destacado por Goedhart são os livros didáticos utilizados nos cursos de graduação. Em sua maioria, esses livros têm como proposta introduzir uma das áreas da química, o que é indicado por títulos como: Introdução à Físico-Química, Química Orgânica Básica, Fundamentos de Análise Química, etc.. Livros didáticos que integram aspectos de mais de uma área são, de modo geral, considerados avançados e, portanto mais adequados para cursos de pós-graduação do que para cursos de graduação. Além disso, a existência dos livros didáticos dedicados às áreas contribui para a constituição das peculiares identidades de cada uma das áreas, com as quais os docentes se identificam e tendem a conservar no contexto do ensino.

Motivado pela preocupação com a excessiva fragmentação dos conteúdos de química, dispersos por numerosas disciplinas semestrais, o Instituto de Química da Universidade de São Paulo, Brasil (IQ-USP), implantou disciplinas denominadas Química Integrada, com o objetivo de promover, entre os alunos, a conexão entre os conceitos estudados em diferentes disciplinas, e desenvolverem uma visão unificada da química (Osorio et al., 2007).

Um esclarecimento se faz necessário a respeito do uso dos termos áreas e disciplinas no presente trabalho. A palavra disciplina pode ser utilizada, em diferentes contextos acadêmicos, para significar um ramo organizado do saber – como explica, por exemplo, Santomé (1998):

Uma disciplina é uma maneira de organizar e delimitar um território de trabalho, de concentrar a pesquisa e as experiências dentro de um determinado ângulo de visão. Daí cada disciplina nos oferecer uma imagem particular da realidade, isto é, daquela parte que entra no ângulo de seu objetivo (Santomé, 1998, p. 55).

Nesse sentido, a química seria uma disciplina, e as cinco áreas em que ela foi tradicionalmente dividida poderiam ser chamadas de sub-disciplinas. Apenas para efeito de clareza, porém, não adotamos essa acepção no presente trabalho. Reservamos a palavra disciplina para designar as unidades curriculares, que reúnem certos conteúdos a serem ensinados, e que, em conjunto, constituem um curso de nível superior. Assim, o curso de química inclui disciplinas semestrais de cálculo, laboratório de física, química dos elementos, introdução a métodos espectroscópicos, etc. No IQ-USP, cada uma dessas unidades curriculares tem a duração de um semestre. Tendo isso em vista, para estabelecer uma distinção, os vários ramos da química estão designados neste trabalho como áreas, sub-áreas ou especialidades. Por exemplo: a físico-química seria uma área da química, e a eletroquímica (entendida como uma subdivisão da físico-química) seria uma sub-área, ou especialidade.

A organização curricular em disciplinas pode levar os alunos, como conseqüência indesejável, a uma visão excessivamente fragmentada do conhecimento químico, ou mesmo a uma especialização precoce. Tais resultados contrariam a concepção atual de como deve ser a formação do químico. Dessa maneira, para enfrentar os desafios apresentados pela realidade da atividade do químico na atualidade, a visão abrangente e

integradora do corpo de conhecimentos dessa ciência apresenta-se como uma necessidade. Essa necessidade, de fato, é comum às diversas áreas do saber, sendo objeto de preocupação de muitos educadores na atualidade. Conforme observou Zabala (2002):

... podemos chegar à conclusão de que a organização dos conteúdos deve permitir o estudo de uma realidade que sempre é complexa e em cuja aprendizagem é preciso estabelecer o máximo de relações possíveis entre os diferentes conteúdos que são aprendidos para potencializar a sua capacidade explicativa (Zabala, 2002, p. 35).

A criação das disciplinas Química Integrada no IQ-USP faz parte, portanto, de um esforço de atualização curricular, o qual busca melhor preparar os alunos para os desafios da contemporaneidade.

#### *Referenciais teóricos*

A fim de investigar as concepções dos alunos sobre a ciência química, optamos pela estratégia de solicitar a construção de diagramas baseados nos já conhecidos mapas conceituais. Mapas conceituais são representações visuais de ideias, conceitos e de suas relações mútuas, que servem como ferramentas para que os alunos organizem aquilo que já sabem, bem como para relacionar novas ideias com aquelas já conhecidas. Mapas conceituais são instrumentos bem estabelecidos na área de ensino de ciências, especialmente em pesquisas que buscam investigar aspectos relacionados à aprendizagem conceitual (Novak, 1990a). A elaboração de mapas conceituais foi desenvolvida como uma estratégia para se analisar estruturas cognitivas (Driver, 1989), tendo seu uso sido iniciado por Novak e cols. (Novak, 1990b).

Mapas conceituais podem ser considerados como instrumentos gráficos metacognitivos (Johnson e Thomas, 1992), que buscam fornecer uma representação visual da estrutura cognitiva de um indivíduo, na forma de uma rede bidimensional. Nessa rede, os conceitos são representados dentro de retângulos (os nós), unidos por linhas sobre as quais se escrevem frases que estabelecem relações entre os conceitos (as malhas da rede). Na forma com que os mapas conceituais foram mais difundidos, os conceitos deveriam ser arranjados hierarquicamente: os conceitos mais abrangentes ficariam situados na parte superior, seguindo-se verticalmente para baixo os mais específicos ou exemplos. A organização geral acompanharia assim os princípios da diferenciação progressiva e da reconciliação integrativa dos conceitos, tais como foram propostos na teoria de aprendizagem de Ausubel (2000), na qual o mapeamento conceitual se baseia.

Mapas conceituais têm sido bastante usados no ensino de química (Regis et al., 1996; Novak, 1984 e Sisovic e Bojovic, 2000), tendo o potencial de encorajar o raciocínio crítico, o questionamento, a auto-avaliação e a formulação de alternativas (Rye e Rubba, 1998). Um dos pioneiros no uso de mapas conceituais, Novak, já havia apontado seu potencial para o estabelecimento de conexões entre diferentes áreas de conteúdos (Heinze-Fry e Novak, 1990). Educadores em química exploraram esse potencial, por exemplo, para investigar a integração de conceitos por estudantes de química geral (Nicoll et al., 2001). Os mapas conceituais se mostram um meio conciso e bem estruturado para os estudantes descreverem as suas

ideias, e por isso são convenientes para que os educadores obtenham uma visão sistêmica do conhecimento de seus aprendizes. Além disso, o processo de elaboração dos mapas se constitui em um processo de metacognição, isto é, os alunos têm a oportunidade de conhecer e refletir sobre seu próprio percurso de aprendizagem. Ao mapear seu conhecimento, os alunos identificam e avaliam suas concepções, decidem se precisam reconstruí-las, e eventualmente reestruturam aspectos relevantes de seu conhecimento, no sentido de alcançarem maior consistência nesse conjunto.

No presente estudo, a elaboração de mapas conceituais foi escolhida por sua versatilidade e pela riqueza de informações que por meio deles se pode expressar e que a partir deles se pode interpretar. Levando em conta essas características, consideramos que os mapas conceituais seriam bons instrumentos para avaliar a integração entre as áreas da química na estrutura cognitiva dos estudantes, pois daria aos estudantes a oportunidade de representar graficamente as interrelações que concebem entre as áreas. Entretanto, diferente dos estudos já bem estabelecidos com mapas conceituais, nosso interesse de pesquisa não se volta especificamente para uma análise dos conceitos e das proposições expressas nos mapas, para a hierarquia de conceitos ou para a caracterização da diferenciação progressiva e da reconciliação integrativa. Assim, por deixar de lado esses aspectos, e por tomar as representações gráficas produzidas pelos alunos como meios para avaliar suas concepções a respeito das conexões entre as áreas da química, consideramos que seria mais conveniente utilizar uma denominação diferente. Por estas razões, em vez de mapas conceituais, nos referimos aqui à produção dos alunos como mapas estruturais – pois se constituem em representações gráficas da estrutura da química, tal como expressas pelos alunos e como os pesquisadores se dispuseram a investigar.

Para analisar como os alunos de graduação concebem as conexões entre as áreas da química, uma primeira abordagem possível seria simplesmente computar quantas relações expressas em cada mapa estrutural conectam conceitos pertencentes a áreas diferentes. Entretanto, essa análise quantitativa, embora forneça uma informação interessante, é limitada, e não explora a riqueza de ideias contida nas produções dos alunos. Buscando aprofundar a análise crítica do material obtido, foi necessário escolher um referencial que atravessasse transversalmente as áreas, e assim fornecesse critérios qualitativos para avaliar as conexões. Tal referencial foi encontrado em um artigo de Goedhart (2007).

#### *Goedhart e as áreas contextuais da química*

Em seu artigo, Goedhart buscou propor uma nova organização curricular para a química, que superasse a divisão nas áreas tradicionais. Para ele, essas cinco áreas refletem a visão que os cientistas tinham da química na primeira metade do século XX, quando, em muitas universidades, os grupos de pesquisa tinham os nomes dessas áreas. A partir dos anos 1950, emergiram novas áreas: química de organometálicos, química do estado sólido, química ambiental, química de polímeros, química bioinorgânica, etc. Esses novos ramos da química não apenas se baseavam nas áreas clássicas, mas também desenvolviam novos métodos e conhecimentos. Também começaram a aparecer em currículos, primeiramente nas partes

finais dos cursos de graduação, ou em programas de pós-graduação. Diante da impossibilidade de incorporar todas as novas áreas que vão emergindo ao longo do tempo, os currículos de graduação exigem que algumas escolhas sejam feitas, resultando em visões parciais da química.

A partir da década de 1970, foram desenvolvidas muitas abordagens didáticas que integravam diferentes áreas da química – como as abordagens em torno de temas, da experimentação ou de projetos, por exemplo. Porém, muitos educadores em química argumentaram que as abordagens temáticas eram boas para aplicar e integrar conhecimentos, mas somente depois que as ideias já houvessem sido aprendidas, separadamente, pelos estudantes. Goedhart observou que, embora muitas mudanças didáticas tenham sido propostas e colocadas em prática, os conteúdos de química ensinados nos cursos de graduação têm permanecido os mesmos.

Em vista disso, e considerando propostas feitas anteriormente por Hammond e Nyholm (1971) e por Hoffmann (1995), Goedhart propôs que o planejamento de novos currículos de química deveria levar em consideração os contextos nos quais os químicos profissionais de fato atuam – os quais o autor identificou como sendo três:

Análise, Síntese, e Desenvolvimento de Teorias. Estes contextos são úteis para descrever as principais atividades dos químicos e, simultaneamente, para planejar um currículo para treinar novos químico (Goedhart, 2007, p. 972).

Goedhart descreveu suas áreas contextuais da seguinte forma:

Considero o contexto Análise mais amplo que a tradicional química analítica, que é voltada para a determinação da composição qualitativa e quantitativa de misturas, e para a análise elementar de compostos puros. Eu estenderia a análise à determinação de estruturas nos níveis semimicroscópico (p.e., estruturas de superfícies) e microscópico (estruturas moleculares, intermoleculares e reticulares)... A área contextual de Síntese descreve o conhecimento e as habilidades relacionadas à síntese de produtos com propriedades específicas. Isto não significa apenas preparar novos compostos – inclui também a preparação de misturas (compósitos) e de materiais com certas propriedades... O Desenvolvimento de Teorias se preocupa com a construção e a validação (geração, acomodação, etc.) de modelos e teorias baseados em propriedades observadas e medidas das substâncias e das reações (Goedhart, 2007, pp. 972–973).

Partindo dessas áreas contextuais, Goedhart discutiu em seu artigo a estruturação de habilidades e conhecimentos que deveriam integrar os currículos de química.

Consideramos a proposta de áreas contextuais de Goedhart muito útil para o tipo de análise almejada no presente trabalho. Goedhart localizou, com muita propriedade, contextos que são suficientemente abrangentes para dar conta das atividades dos químicos, e que, ao mesmo tempo, perpassam as áreas tradicionais sem se confundirem com elas. Tomamos essas áreas contextuais como um guia para olhar através das áreas tradicionais, ou seja, como critério qualitativo de avaliação. Assim, as

conexões entre as diferentes áreas, expressas pelos alunos em seus mapas estruturais, foram classificadas como se referindo a um dos três contextos – Síntese, Análise ou Desenvolvimento de Teorias – o que forneceu mais subsídios para nossa investigação acerca das maneiras como os estudantes integram seus conhecimentos químicos.

### **Metodologia**

Como vimos, o objetivo deste trabalho é analisar as concepções expressas por alunos de graduação a respeito da organização da química como ciência e, em especial, como os alunos concebem as interações entre as áreas tradicionais da química.

Para isso, foi analisada uma das atividades desenvolvidas no âmbito da disciplina Química Integrada III, oferecida no segundo semestre de 2007 a alunos que então cursavam o sexto semestre dos diferentes cursos do IQ-USP. O perfil sócio-econômico dos alunos investigados é de classe média e classe média alta, típico dos alunos matriculados na USP. O ingresso na USP é feito por meio de um exame de seleção bastante concorrido, sendo rigoroso na avaliação dos conhecimentos dos ingressantes. Além disso, os alunos investigados também foram sendo selecionados ao longo do próprio curso de graduação, que tem um índice de evasão de cerca de 20% ao ano. O fato de o público-alvo da pesquisa estar cursando o sexto semestre significa que são alunos que completaram cerca de 70 a 75% de seu curso de graduação.

A amostra pesquisada constou de 50 alunos dos diferentes cursos oferecidos pelo Instituto de Química da USP, sendo 23 matriculados no curso diurno de Bacharelado em Química (BachQuim), e 27 nos cursos noturnos de Bacharelado em Química Ambiental (BachQAmb) e Licenciatura em Química (LicQuim). Esses alunos, divididos em equipes, produziram um total de 14 mapas estruturais, que constituíram o objeto de estudo desta pesquisa.

A atividade proposta teve como finalidade promover a reflexão dos alunos a respeito de suas concepções sobre a natureza e a organização da química como ciência, ao mesmo tempo em que serviu como instrumento de avaliação dessas mesmas concepções por parte dos docentes da disciplina.

Na primeira aula da disciplina foi apresentada uma explicação de cinquenta minutos a respeito do que são mapas conceituais, para que servem, como se forma uma proposição, diversos exemplos de mapas conceituais, quais as diferenças entre mapas conceituais e outras representações gráficas como fluxogramas e esquemas, quais as estruturas mais comuns de mapas conceituais, como representar a hierarquia de conceitos e quais os passos necessários para elaborar um mapa conceitual. Na sequência os alunos elaboraram três mapas, um a respeito de elemento químico, outro sobre equilíbrio químico, ambos individuais, e um terceiro, em grupo, com o objetivo de relacionar os principais conceitos aprendidos nas disciplinas do curso de graduação.

Solicitou-se então que os alunos elaborassem um mapa conceitual organizando a ciência Química em grandes áreas e sub-áreas – resultando

naquilo que denominamos de mapa estrutural. Os alunos puderam trabalhar em equipes (que tiveram de 2 a 5 alunos), e tiveram um mês entre a proposição da tarefa e a entrega do mapa. Assim, os alunos puderam discutir livremente entre si, bem como recorrer a quaisquer fontes de consulta que desejassem. Os mapas propiciaram aos estudantes a possibilidade de expressar suas concepções acerca da organização do conhecimento químico de maneira gráfica, oferecendo-lhes também a possibilidade de discutir sua representação em pequenos grupos, bem como de re-elaborar suas representações quantas vezes considerassem necessário.

Os mapas entregues pelos alunos foram impressos em formato de pôster para que, numa aula dedicada a essa finalidade, cada equipe explicasse seu mapa para os colegas e para os docentes. Além disso, foi solicitado que cada equipe entregasse, por escrito, um parágrafo explicando seu mapa. A análise que se segue está baseada nos mapas estruturais entregues.

#### *Crítérios para análise*

Os critérios para análise foram definidos a partir de considerações feitas por Goedhart (2007), e também de um exame preliminar dos próprios mapas elaborados pelos alunos. Para análise dos mapas estruturais, foram considerados os aspectos listados a seguir:

- (a) natureza da química – ciência e profissão;
- (b) número e qualidade das conexões entre os conceitos apresentados nos mapas;
- (c) integração entre as áreas tradicionais da química;
- (d) presença de Ensino de Química como área, sub-área ou especialidade da Química;
- (e) indicação de aplicações da química no sistema produtivo, e de interfaces da química com outras áreas de conhecimento.

Um dos critérios para avaliação dos mapas foi como as cinco áreas tradicionais da química (química analítica, inorgânica, orgânica, físico-química e bioquímica, daqui por diante identificadas respectivamente como QA, QI, QO, FQ e BQ) compareceram em cada um deles. Procuramos investigar também de que maneira os alunos estabeleceram relações entre essas áreas tradicionais. Para isso, foram analisadas apenas as conexões explicitadas entre conceitos pertencentes a áreas diferentes, ou seja, não consideramos as conexões entre conceitos de uma mesma área. Por exemplo, consideramos que a seguinte afirmação permite evidenciar uma relação entre áreas distintas: “interações intermoleculares [são a] base para métodos de separação”, pois o conceito interações intermoleculares está tradicionalmente relacionado à área FQ, e métodos de separação está tradicionalmente relacionado à QA. Por outro lado, não foi considerada, por exemplo, a relação: “inorgânica estrutural [inclui estudos de] metais”, pois tanto inorgânica estrutural quanto metais relacionam-se à QI – não evidenciando, portanto, a integração do conhecimento químico através das áreas tradicionais.



Para classificar as relações inter-áreas, utilizamos como critério as áreas contextuais de Síntese, Análise e Desenvolvimento de Teorias, propostas por Goedhart (2007), e descritas acima. As áreas contextuais permitem analisar como as atividades dos químicos transcendem, de fato, os limites das áreas tradicionais. Este instrumento de análise pode nos fornecer subsídios sobre como os alunos compreendem a atuação do químico e como ele se relaciona com o corpo de conhecimentos dessa ciência. Entretanto, é preciso considerar que nem todas as relações entre as áreas tradicionais, expressas nos mapas, puderam ser classificadas usando-se esse critério. Algumas relações não envolvem contextos relacionados a atividades dos químicos, mas o compartilhamento de objetos de estudo. Consideremos o exemplo seguinte: “Bioquímica [envolvendo compostos inorgânicos constitui] Bioinorgânica”. Neste caso, embora a bioinorgânica possa ser considerada como uma interface entre BQ e QI, a relação explícita que há um conjunto de compostos que é objeto de estudo comum da BQ e da QI. Assim, esse tipo de relação não foi classificada para efeito de estudo neste trabalho.

Conexões muito vagas, tais como “Química orgânica [é a] base [da] Bioquímica”, ou simplesmente a conexão entre duas áreas por meio de referência a aplicações no sistema produtivo, tampouco foram classificadas.

Para efetuar a análise dos mapas, consideramos também outra estratégia para investigar como os alunos poderiam estar promovendo a integração de seus conhecimentos químicos. Assim, decidimos investigar quais as concepções a respeito de ensino de química expressas nos mapas.

### **Resultados e discussão**

Os mapas mostraram desiguais níveis de detalhamento, de organização e até mesmo diferentes concepções acerca da química. De um modo geral, porém, em quase todos eles foi possível identificar a presença das cinco áreas tradicionais da química, seja explicitamente com esses nomes, seja implicitamente na própria organização dos mapas. Apresentamos a seguir a análise dos mapas, organizada conforme os critérios estabelecidos.

#### *Química como ciência vs Química como profissão*

Essas duas concepções puderam ser observadas nos mapas produzidos. De maneira geral, doze mapas foram organizados de forma que sugerem a química como corpo de conhecimentos organizados; em suma, prevalece nesses mapas a concepção da química como uma ciência (Figura 1). Alguns mapas deixam transparecer concepções menos abrangentes, da química não como ciência, mas como uma profissão (Figura 2) – refletindo de alguma forma as habilitações profissionais oferecidas pelo IQ-USP (Licenciatura em Química, Bacharelado em Química Ambiental, Bacharelado com Atribuições Tecnológicas, Bacharelado com Atribuições Biotecnológicas). Observa-se que os alunos interpretaram diferentemente a tarefa proposta, contemplando diferentes ênfases da química. O fato de a química ser uma profissão regulamentada no Brasil, com habilitações profissionais definidas em lei, influenciou na concepção do mapa para alguns alunos. Estes entenderam as áreas da química como os campos de

atuação do profissional de química, que abrangem especialmente a indústria e o magistério.

Na figura 2 o que os alunos chamam de sub-áreas da Química são quatro das habilitações profissionais oferecidas pelo IQ-USP. Todas se interligam pelo conceito Pesquisa. Os alunos recorrem a exemplos para justificar as relações entre os conceitos listados em cada sub-área. A incompletude do mapa, entretanto, é bastante evidente.

Dentre os doze mapas em que prevaleceu a concepção de química como ciência, foi possível observar que nove deles apresentavam abrangência restrita à química, enquanto nos três restantes havia a explicitação de interfaces da química com outras áreas da ciência (vide, por exemplo, a Figura 5).

O destaque dado a interfaces e aplicações da química parece refletir uma concepção também bastante difundida da química – de acordo com a qual esta é caracterizada como ciência central, repleta de interações com outras ciências, de possibilidades de desenvolvimentos tecnológicos, e com grande impacto sobre a sociedade.

Curiosamente, porém, para os alunos entre os quais predominou a visão profissional, ou a explicitação de interfaces e aplicações, observou-se que seus mapas, de um modo geral, apresentavam poucas conexões entre os conceitos incluídos. Aparentemente, a escolha desse enfoque privilegia a relação da química com outros campos de conhecimento, em detrimento da expressão da organização interna dessa ciência, ou seja, das inter-relações entre as partes que constituem a química.

#### *Quanto ao número de conexões*

Em relação à quantidade de conexões feitas pelos alunos, os mapas foram classificados inicialmente em duas grandes categorias, como mostra a tabela 1.

A figura 1 exemplifica um mapa que apresenta muitas conexões entre as áreas tradicionais da química. Em um dos mapas classificados como contendo poucas conexões inter-áreas, por exemplo, há uma única conexão entre as áreas QI e FQ expressa pela frase “compostos inorgânicos (QI) possuem orbitais atômicos (FQ)”. Nesse mesmo mapa, a BQ aparece como sub-área da QO, como se fosse o estudo de casos particulares dos compostos orgânicos, e não há qualquer relação explícita entre a área de FQ com QO ou QA, nem entre QA ou QO, etc.

A análise do número de conexões inter-área mostra que muitos alunos apresentam dificuldades em explicitar as conexões entre as diversas áreas e sub-áreas da química, estudadas em diferentes disciplinas do curso. Cinco equipes foram capazes de construir mapas que incluíam um grande número de especialidades da química, e as relacionaram através de um grande número de conexões, conseguindo assim explicitar o caráter integrado do conhecimento químico (vide, por exemplo, o mapa da figura 1). Outros mapas, porém, revelaram problemas quanto ao desenvolvimento dessa visão integrada.

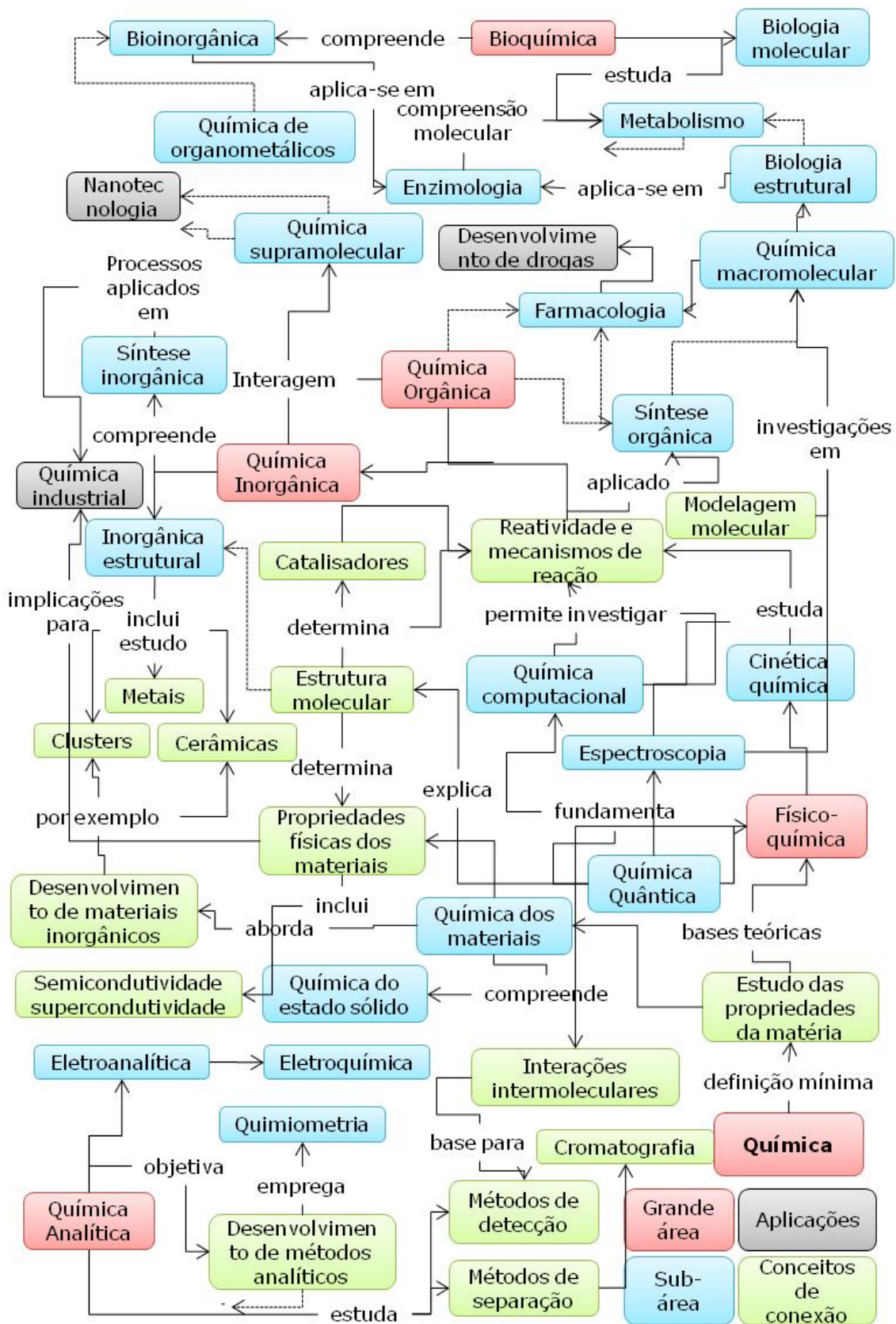


Figura 1.- Mapa em que prevalece a concepção de química como ciência. As setas tracejadas mostram onde conexões foram omitidas.

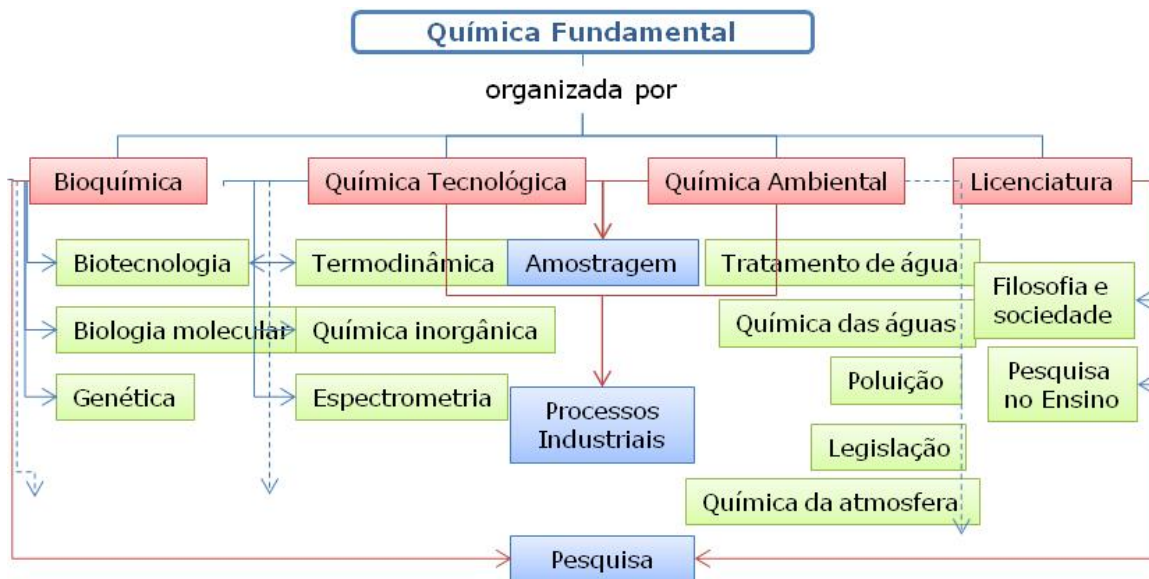


Figura 2.- Mapa em que a química aparece estruturada em função de habilitações profissionais. As setas tracejadas mostram onde conexões foram omitidas.

Categoria	Quantidade de conexões entre as áreas	Número de mapas (N = 14)		
		BachQuim	BachQAmb e LicQuim	total
A	Muitas	4	3	7
B	Poucas	2	5	7

Tabela 1.- Quantidade de conexões entre as áreas observadas nos mapas construídos pelos alunos dos cursos de Bacharelado em Química (BachQuim), Bacharelado em Química Ambiental (BachQAmb) e Licenciatura em Química (LicQuim).

Um dos mapas procurava mostrar um grande número de conexões entre grandes áreas da química; porém, os alunos não conseguiram explicar com clareza quais seriam essas conexões. Outro mapa (Figura 3) explicita muitas conexões, mas os alunos não seguiram exatamente a proposta da atividade: o mapa subordina muitos conteúdos a diferentes áreas e sub-áreas da química, e estabelece conexões entre esses conteúdos. Por exemplo, conteúdos como velocidade, energia livre e poluição aparecem no mapa, e se relacionam a mais de uma área. Assim, há poucas áreas e sub-áreas, e muitos conteúdos.

O mapa apresentado na figura 3 revela, em certa medida, uma visão integrada da química, ao mesmo tempo em que revela uma dificuldade em diferenciar uma área de estudos, ou especialidade, de um conceito específico. Essa dificuldade aparece, em menor grau, em outros mapas, onde conteúdos específicos aparecem lado a lado com áreas e sub-áreas da química. Metade dos mapas analisados, por sua vez, revelaram visões excessivamente fragmentadas do conhecimento químico, na medida em que os alunos não foram capazes de explicitar muitas conexões entre as múltiplas áreas da química. Prevalece, nesses casos, uma visão

fragmentada, que reproduz em geral a separação em disciplinas que constituem o curso de química, a separação em grandes áreas ainda existente na organização departamental do IQ-USP e da maioria dos Departamentos de Química, bem como a divisão dos livros didáticos por área.

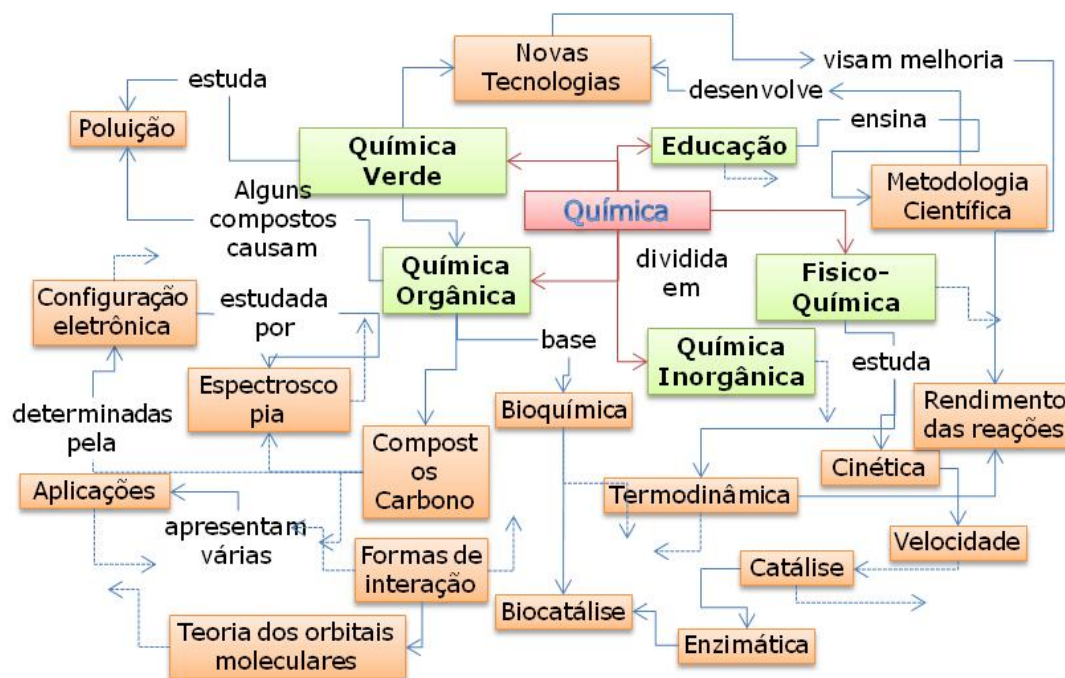


Figura 3.- Mapa estrutural que mostra as inter-relações entre as áreas da química pela conexão de um grande número de conceitos, e não pelo estabelecimento de conexões entre sub-áreas. As setas tracejadas mostram onde conexões foram omitidas.

Embora não tenhamos quantificado todas as conexões entre as áreas tradicionais feitas pelos alunos, os números referentes às áreas contextuais de Goedhart para cada mapa (apresentados mais adiante, na tabela 3) são proporcionais ao número total de conexões feitas, e justificam a classificação nas categorias muitas conexões ou poucas conexões, proposta.

*Quanto à representação das áreas tradicionais da Química e quanto aos tipos de conexões/integrações entre essas áreas.*

Os mapas foram analisados buscando investigar de que maneiras as cinco áreas tradicionais da química aparecem. Uma primeira classificação é representada na tabela 2. Observa-se na maioria dos mapas, como era de se esperar, a estruturação da química em termos de suas cinco áreas tradicionais – embora alguma delas possa estar ausente, ou outras serem acrescentadas com o mesmo status. Em alguns mapas, não aparecem explicitamente os nomes das áreas tradicionais, mas ao analisar sua estruturação é possível observar a organização de conceitos ou sub-áreas em torno dessas áreas (bom exemplo disso é o mapa da figura 4). Embora a química quântica, ou química teórica possa tradicionalmente ser considerada como uma sub-área da físico-química, em cinco mapas ela

apareceu com o mesmo status das cinco áreas tradicionais. Tendo em vista esse destaque dado pelos alunos, não observado para nenhuma outra sub-área, optamos por ressaltar a química quântica na tabela acima.

Áreas tradicionais	Outras áreas com o mesmo status das tradicionais	Número de mapas
BQ, QA, QI, QO, FQ	nenhuma	3
BQ, QA, QI, QO, FQ	química quântica/teórica	2
BQ, QA, QI, QO, FQ	química quântica + outras	3
BQ, QA, QI, QO, FQ	outras	2
QA, QI, QO, FQ	nenhuma	1
QI, QO, FQ	outras	1
indefinidas		2

Tabela 2.- Identificação das diferentes áreas da química. As outras áreas aqui referidas incluem, por exemplo, engenharia química, química ambiental, ensino de química, química nuclear – mas não a química quântica ou química teórica, que se encontram destacadas à parte.

Em apenas dois mapas não foi possível definir os contornos das áreas tradicionais, mas por razões distintas. Em um deles (Figura 2), os alunos estruturaram a química em função das atribuições profissionais dos químicos; assim, os nomes das cinco áreas tradicionais aparecem, mas dispersos, ao lado dos nomes de suas sub-áreas e de conceitos como Poluição e Pesquisa no Ensino. No outro mapa, porém, as cinco áreas tradicionais aparecem ao lado de outras áreas como geoquímica, astroquímica, química teórica, química industrial, etc., em uma organização que não sugere imediatamente a estruturação em torno das cinco áreas, como ocorre em outros mapas. Esse mesmo mapa também se caracteriza pela presença de boas frases de conexão. Assim, embora não seja muito detalhado, esse mapa revela uma visão um pouco menos ortodoxa, e mais abrangente, de seus autores em relação à divisão em áreas tradicionais.

Após essa primeira análise, procurou-se investigar como os alunos estabeleceram relações entre as áreas tradicionais em seus mapas. Para isso, foram utilizadas as áreas contextuais propostas por Goedhart como critério para classificar as relações. Os resultados encontram-se expressos na tabela 3.

Os tipos de conexões que foram computadas são exemplificadas a seguir, com fragmentos extraídos dos mapas estruturais dos alunos. As seis conexões seguintes foram classificadas na categoria Análise: “Métodos analíticos [úteis em] Química inorgânica”; “Química orgânica [usa como ferramenta] Espectroscopia”; “Modelagem molecular [investigações em] Biologia estrutural”; “Experimentação em bioquímica [pode utilizar] Espectroscopia”; “Química analítica [fornece conceitos para] Reatividade orgânica”; e “Eletroanalítica [útil em] Química inorgânica”.

As conexões a seguir, por sua vez, foram classificadas na categoria Síntese: “Síntese orgânica [aplicada em] polímeros”; “Compostos inorgânicos [formam] complexos”; “Síntese orgânica [aplicada em] Farmacologia”; e “Síntese inorgânica [aplicada na] Química industrial”.



Finalmente, conexões como as que se seguem foram classificadas na categoria Desenvolvimento Teórico: “Espectroscopia [fundamenta os modelos da] Coordenação”; “Eletroquímica [base da] Eletroanalítica”; “Interações intermoleculares [são base para] métodos de separação”; “Cinética [determina a rapidez com que ocorrem] reações”; “Química teórica (Quântica) [é base para] Espectroscopia”; e “Química orgânica [fundamenta] Biologia estrutural”.

Categoria	Mapa	Tipos de conexões			TOTAL
		AN	SI	DT	
A (Muitas Conexões)	BachQuim 1	4	5	11	20
	BachQuim 2	2	2	6	10
	BachQuim 3	4	1	4	9
	BachQuim 4	5	1	2	8
	BachQAmb/LicQuim 1	8	0	9	17
	BachQAmb/LicQuim 2	4	0	2	6
	BachQAmb/LicQuim 3	1	2	2	5
B (Poucas Conexões)	BachQuim 5	1	1	0	2
	BachQuim 6	0	0	0	0
	BachQAmb/LicQuim 4	1	1	1	3
	BachQAmb/LicQuim 5	1	0	2	3
	BachQAmb/LicQuim 6	0	0	1	1
	BachQAmb/LicQuim 7	0	0	0	0
	BachQAmb e LicQuim 8	0	0	0	0
TOTAL		29	13	40	82

Tabela 3.- Conexões classificadas de acordo com áreas contextuais da química, segundo Goedhart: AN = análise, SI = síntese, DT = desenvolvimento teórico. Os totais indicados se referem apenas às conexões que atravessam os limites entre as áreas tradicionais e que foram atribuídas a uma das áreas contextuais, e não ao número total de conexões estabelecidas em cada mapa.

Vale lembrar que houve ainda outras conexões entre as áreas tradicionais da química, mas que não foram consideradas, conforme explicado na seção Critérios para análise, acima.

No que se refere às áreas contextuais de Goedhart, observa-se o predomínio da área de Desenvolvimento Teórico, com quase a metade das conexões observadas, seguida de perto pela área de Análise. Esse resultado sugere que os alunos conseguem perceber que as teorias da química aplicam-se a suas diferentes áreas tradicionais, o que se constitui em importante passo para a integração do conhecimento químico aprendido por esses alunos. De um modo geral, os alunos conferem especial destaque às teorias termodinâmicas e cinéticas, estudadas nas disciplinas de físico-química, como contribuindo para a compreensão de todas as outras sub-áreas. Isso reflete a própria concepção sobre a qual foram estruturados os cursos de graduação do IQ-USP, nos quais se buscou introduzir disciplinas de físico-química o mais precocemente possível (a partir do 2º semestre nos cursos diurnos, e do 3º semestre nos cursos noturnos), a fim de que seus princípios possam ser aplicados o quanto antes nas demais disciplinas. Também chama a atenção o destaque, em muitos mapas, à química quântica (ou química teórica), apontada pelos alunos, por exemplo, como

fundamento da espectroscopia – a qual, por sua vez, encontra aplicações em todas as áreas da química.

Entretanto, em alguns casos percebe-se uma tendência a um reducionismo, que revela incompreensão das relações entre as áreas. É o que se observa, por exemplo, em quatro dos quatorze mapas analisados, nos quais a bioquímica aparece como um ramo da química orgânica. Nesses mapas, não há conexões que unam a BQ às áreas de FQ, QA e QI e, além disso, uma única conexão relaciona toda a BQ à QO. Assim, esses mapas sugerem que a BQ seria o estudo de uma classe particular de compostos orgânicos, que incluiria as proteínas, açúcares, lipídios, ácidos nucleicos, etc.

Se, por um lado, muitos alunos percebem que as diversas áreas da química compartilham fundamentos teóricos, também a idéia de que os métodos analíticos são importantes em todas as áreas da química, assim como a determinação de estruturas, parece estar razoavelmente disseminada entre os alunos, dado o número de conexões classificadas na categoria Análise. Chama a atenção, porém, o pequeno número de conexões que puderam ser classificadas na área contextual de Síntese. A síntese é, sem dúvida, um dos aspectos mais característicos do trabalho do químico, conforme as palavras de M. Berthelot: química cria o seu objeto (Berthelot, 1860). A grande maioria dos artigos científicos publicados se referem, hoje, à síntese de novos materiais (Schummer, 1997a e 1997b). Os alunos, por certo, não desconhecem esses aspectos, pois apontam para a área contextual de Síntese dentro dos limites das áreas tradicionais em seus mapas. Sua dificuldade, portanto, parece estar em constatar que essa área contextual pode transpor as fronteiras entre as áreas tradicionais – reconhecendo, por exemplo, que métodos analíticos podem ser importantes para a preparação e caracterização de novos materiais, que as técnicas de síntese orgânica e inorgânica podem convergir para a preparação de compósitos, que considerações teóricas sobre estruturas podem contribuir para a síntese de nanomateriais inorgânicos, etc.

#### *Quanto à presença de Ensino de Química como área, ou especialidade da Química*

A análise dos mapas mostrou que a o Ensino de Química foi incluído em seis deles. A tabela 4 mostra o status do Ensino de Química expresso nos mapas estruturais produzidos por grupos de alunos das diferentes modalidades.

Os seis mapas em que o Ensino de Química aparece são do período noturno (75% dos 8 mapas), e nenhum do período diurno. Pode-se observar, na atual estrutura curricular, que os alunos do período diurno não estão sendo apresentados às questões do ensino de química no curso de bacharelado. Para eles, de um modo geral, a licenciatura aparece como uma opção a mais de profissionalização ao final do bacharelado – quando, somente então, os alunos começam a cursar disciplinas de licenciatura. No caso dos cursos noturnos, porém, a situação é bem diferente: a opção pela licenciatura é feita já no ingresso. Mesmo no caso do curso de bacharelado em química ambiental, os alunos discutem aspectos do ensino de ciências já no segundo semestre (Química, Meio Ambiente e Educação). Assim, muitos



alunos do período noturno tendem a ver o Ensino de Química como uma área da química, embora as concepções a esse respeito sejam variadas.

Status do Ensino de Química	Número de mapas		
	BachQuim	BachQAmb e LicQuim	total
mesmo das áreas tradicionais	-	2	2
outro	-	2	2
habilitação profissional	-	2	2
(ausente)	6	2	8

Tabela 4.- Status do Ensino de Química observado nos mapas construídos pelos alunos dos cursos de Bacharelado em Química (BachQuim), Bacharelado em Química Ambiental (BachQAmb) e Licenciatura em Química (LicQuim).

Em dois mapas, o Ensino de Química aparece com o mesmo status das áreas tradicionais, ainda que os mapas apresentem níveis distintos de elaboração. Em um deles, a concepção de Ensino de Química (denominada por esses alunos como Educação) é mais superficial – dela partem apenas duas conexões, que podem ser expressas da seguinte maneira: Educação ensina Metodologia Científica, que visa melhoria de Novas Tecnologias; e Educação visa Contextualização, que ajuda a entender e combater a Poluição. No outro mapa (Figura 4), entretanto, a área de Ensino de Química é constituída por cinco descritores inter-relacionados, e fortemente vinculados à Química Ambiental. Esse mapa apresenta a Química como ciência, sendo que, na parte superior do mapa, aparece a preocupação de como ensinar essa ciência. Chama a atenção a centralidade atribuída a três conceitos: Química Quântica, Espectroscopia e Integração: meio ambiente e educação. As cinco áreas tradicionais, embora não estejam explicitadas pelos seus nomes, podem ser reconhecidas, havendo um grande número de relações entre elas, especialmente nos três nós apresentados como centrais.

Conforme já comentamos acima, há ainda outro mapa no qual a Química Ambiental aparece vinculada ao Ensino de Química, sem que essas áreas, entretanto, apareçam com o mesmo status das tradicionais. Um quarto mapa (Figura 5) relaciona a Educação a um grande retângulo que reúne as áreas de QA, QI, QO e FQ, situando-a de maneira semelhante à Química Ambiental, Eletroquímica e Termodinâmica, por exemplo. Nos dois últimos mapas mencionados, o Ensino de Química é representado como uma área de interface entre a química e a pedagogia ou educação geral. Os dois últimos mapas que incluem o Ensino de Química são aqueles em que a química é entendida como profissão, sendo o Ensino uma das habilitações profissionais, isto é, compreendido como licenciatura em química (Figura 2).  
e. Presença de aplicações (indústria) ou interfaces

Em oito mapas são explicitadas interações de áreas da química com o setor produtivo industrial, bem como suas interfaces com outros ramos do conhecimento (farmácia, medicina, engenharia, pedagogia, etc.); nos restantes seis mapas esse aspecto está ausente.

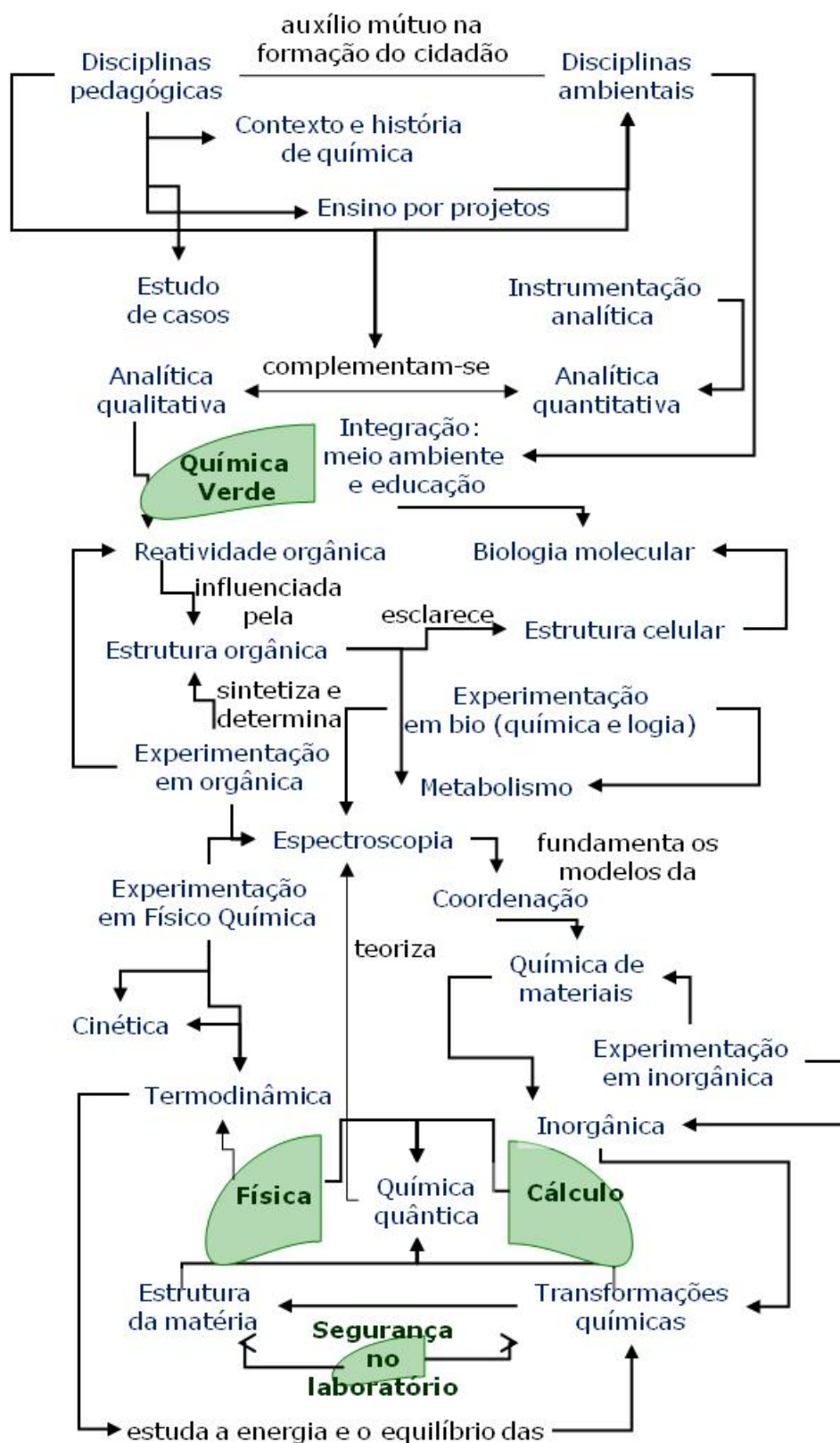


Figura 4.- Mapa que mostra a área de ensino de química fortemente relacionada à área de química ambiental.

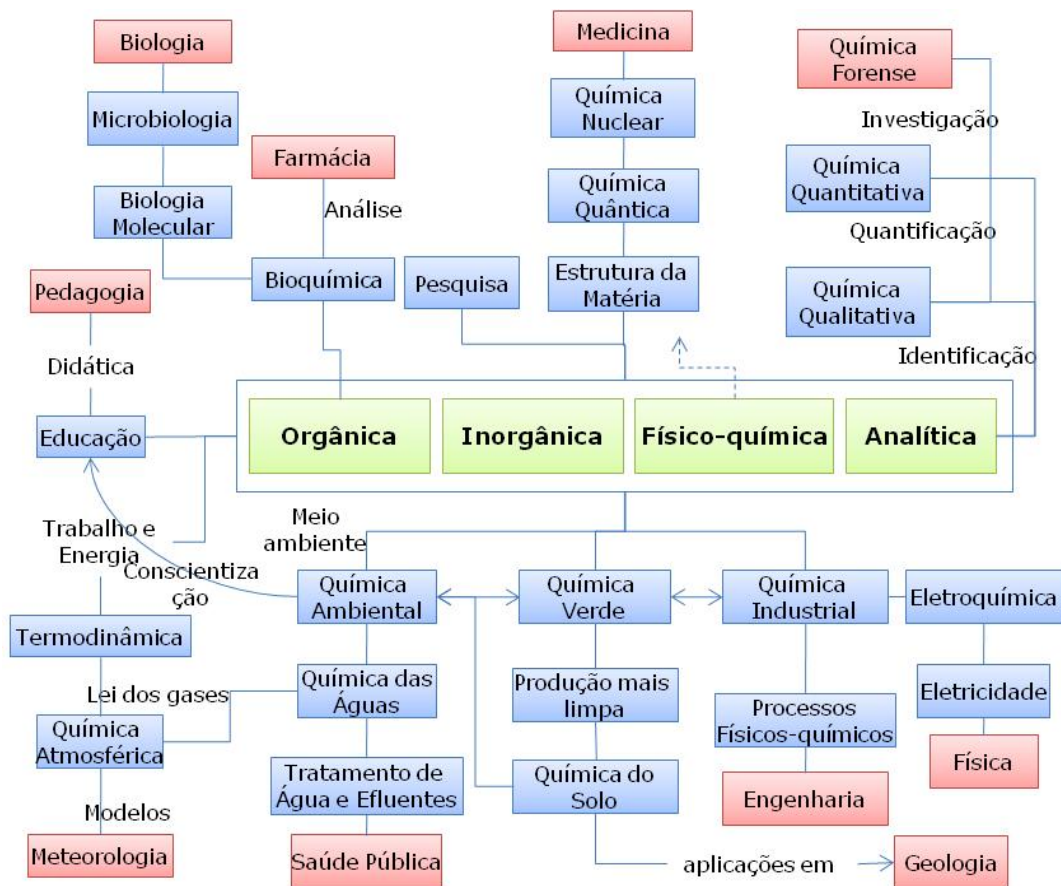


Figura 5.- Exemplo de mapa que apresenta a química como ciência central, e exhibe aplicações no sistema produtivo e interfaces com outros ramos da ciência.

Observa-se, assim, que um número significativo de alunos apontou para as possibilidades de aplicações práticas do conhecimento químico. Essa característica pôde ser observada tanto entre as equipes que construíram mapas ricos em conexões, quanto entre as que elaboraram mapas muito fragmentados. Isso revela um aspecto bastante característico da química, e que parece estar bem assimilado pelos estudantes dessa ciência.

### Conclusões

A utilização de mapas estruturais mostrou-se uma estratégia útil para promover a reflexão dos graduandos a respeito da ciência química, sua natureza e sua organização. Os resultados mostraram que a compreensão dos alunos no que se refere a esses aspectos é desigual. Por um lado, um bom número de graduandos foi capaz de elaborar bons mapas, contemplando muitas sub-áreas e especialidades da química, e estabelecendo boas conexões entre elas. O uso das áreas contextuais de Goedhart como critério para analisar as conexões revelou o predomínio da área denominada desenvolvimento teórico. Isso sugere que muitos alunos conseguem perceber que existem fundamentos teóricos subjacentes às diferentes áreas da química, o que se constitui em aspecto importante no processo de construção de uma compreensão abrangente e integradora dessa ciência.

Por outro lado, um número também significativo de estudantes apresentou dificuldades em expressar sua visão de química, apresentando mapas com poucas sub-áreas e especialidades, e com poucas conexões entre elas. Estes estudantes parecem ter tido dificuldade em superar a tradicional divisão da química nas cinco áreas tradicionais, reproduzindo a divisão do curso em disciplinas estanques, presentes também nos livros didáticos. Para esses graduandos, a existência de três disciplinas de Química Integrada em seus currículos de graduação não foi suficiente para modificar tais concepções, que são reforçadas pela própria estrutura curricular, e mesmo institucional, como um todo.

Assim, a estrutura curricular parece de fato ser determinante na concepção que os alunos têm acerca da estrutura do conhecimento químico. A análise da presença do Ensino de Química nos mapas fornece evidências nesse sentido. Nos mapas dos alunos do curso de Bacharelado em Química, no qual essas sub-áreas têm pouca participação no currículo, elas pouco aparecem, ou aparecem com pequeno destaque. Porém, nos mapas dos alunos dos cursos que se voltam para habilitações profissionais em Química Ambiental e Licenciatura em Química, essas sub-áreas aparecem em alguns casos com tanto destaque quanto as cinco áreas tradicionais.

Outro aspecto marcante nas concepções dos alunos é a relação da Química com outras ciências e com o sistema produtivo. Os alunos parecem compreender, desde o início de sua formação em química, que esta ciência se utiliza de conceitos de outras áreas da ciência, oferece contribuições para outros campos, e apresenta inúmeras possibilidades de aplicações práticas. Alguns alunos que não detalharam a estrutura interna da ciência química enfatizaram, porém, suas interfaces – o que não deixa de ser revelador de uma concepção a respeito da química entendida como ciência central.

Os resultados observados sugerem algumas reflexões que, se transformadas em ações efetivas, podem contribuir para o ensino de química. Em primeiro lugar, sugere-se que o desafio de promover entre os futuros químicos o desenvolvimento de uma visão integradora, que melhor reflita a complexidade da química na atualidade, deve ser compartilhado entre os diversos formadores, ao longo de todo o curso de graduação. Não é suficiente o empenho de um ou outro formador, no âmbito de uma disciplina específica: o compromisso com essa abordagem necessita permear todo o curso, e para isso deve envolver o coletivo dos formadores. Para isso, cada formador precisa conceber a disciplina que esteja sob sua responsabilidade não como um fim em si mesma, mas como parte de um currículo mais amplo, e com o qual deve estabelecer relações significativas que fiquem explícitas para os alunos. Além dos conteúdos específicos das áreas da química nas disciplinas tradicionais, os cursos de graduação precisam dedicar atenção para o significado da divisão do currículo em disciplinas, ressaltando as relações entre os conteúdos das diferentes disciplinas.

Os estudantes devem ser incentivados a superar a idéia de que cada disciplina se encerra em si mesma, cuja conseqüência seria a inexistência da necessidade de se transpor os conteúdos e conceitos de uma disciplina para outras. Uma forma de se contrapor a essa concepção inadequada seria promover, entre os estudantes, reflexões sobre a natureza do conhecimento

químico, de modo a auxiliá-los no processo de compreensão de seus significados. Como sugestão, os alunos poderiam elaborar, ao final de cada disciplina do curso, um mapa conceitual relacionando os principais conceitos aprendidos com conceitos estudados em outras disciplinas. Para isso, os formadores responsáveis por diferentes disciplinas se reuniriam para definir listas dos conceitos considerados mais relevantes em cada disciplina (as quais serviriam como subsídio para os alunos elaborarem seus mapas conceituais) e quais as relações entre esses conceitos seriam mais desejáveis que os alunos desenvolvessem. A análise conjunta, pelos diversos formadores, dos mapas produzidos ao final de diferentes disciplinas, permitiria a avaliação e eventual reorientação do planejamento de disciplinas específicas e do próprio curso.

Tais considerações abrem, assim, perspectivas de pesquisa ainda não exploradas, mas que poderão permitir, futuramente, que se avaliem o impacto dessas atividades de metacognição junto aos estudantes de química.

Este trabalho revela que o currículo influencia fortemente a visão que os estudantes têm da química, sugerindo que os aspectos curriculares devam ser objeto de reflexão. Em resumo, se o objetivo é fazer com que os alunos adquiram uma visão integrada da ciência química, isso não deve ser tentado no âmbito de uma disciplina específica com essa finalidade, mas dispersando-se essa visão por todo o currículo. Sendo assim, este trabalho traz elementos importantes para se pensar o currículo de química praticado no IQ-USP e em outras instituições em que o currículo esteja organizado de maneira semelhante, e também para subsidiar as alterações necessárias.

### **Agradecimentos**

Agradecemos aos Profs. Drs. Luiz H. Catalani, Marina F. M. Tavares e Hernan Chaimovich e aos alunos da disciplina Química Integrada III de 2007. Agradecemos também à Fapesp, CNPq, Capes, Dow Chemical Company e Pró-Reitoria de Pesquisa da USP.

### **Referências bibliográficas**

Ausubel, D.P. (2000). *The acquisition and retention of knowledge: a cognitive view*. Boston: Kluwer Academic Publishers.

Berthelot, M. (1860). *Chimie organique fondée sur la synthèse*. Paris: Mallet-Bachelier.

Driver, R. (1989). Students' conceptions and the learning of science. *International Journal of Science Education*, 11, 5, 481-490.

Gilbert, J.K. (2006). On the nature of "context" in chemical education. *International Journal of Science Education*, 28, 9, 957-976.

Goedhart, M.J. (2007). A new perspective on the structure of chemistry as a basis for the undergraduate curriculum. *Journal of Chemical Education*, 84, 6, 971-976.

Hammond, G.S. e R. Nyholm (1971). The structure of chemistry. *Journal of Chemical Education*, 48, 1, 6-13.

Heinze-Fry, J. A. e J. D. Novak (1990). Concept mapping brings long-term movement toward meaningful learning. *Science Education*, 74, 4, 461-472.

Hoffmann, R. (1995). *The same and not the same*. New York: Columbia University Press.

Johnson, S.D. e R. Thomas (1992). Technology education and the cognitive revolution. *Technology Teacher*, 51, 4, 7-12.

Nicoll, G.; Francisco, J. e M. Nakhleh (2001). An investigation of the value of using concept maps in general chemistry. *Journal of Chemical Education*, 78, 8, 1111-1117.

Novak, J.D. (1984). Applications of advances in learning theory and philosophy of science to the improvement of chemistry teaching. *Journal of Chemical Education*, 61, 7, 607-612.

Novak, J.D. (1990a). Concept mapping: A useful tool for science education. *Journal of Research in Science Teaching*, 27, 10, 937-949.

Novak, J.D. (1990b). Concept maps and Vee diagrams: two metacognitive tools to facilitate meaningful learning. *Instructional Science*, 19, 1, 29-52.

Osorio, V.K.L.; Tiedemann, P.W. e P.A. Porto (2007). Primo Levi and the periodic table: teaching chemistry using a literary text. *Journal of Chemical Education*, 84, 5, 775-778.

Regis, A.; Albertazzi, P.G. e E. Roletto (1996). Concept maps in chemical education. *Journal of Chemical Education*, 73, 11, 1084-1088.

Rye, J.A. e P.A. Rubba (1998). An exploration of the concept map as an interview tool to facilitate the externalization of students' understandings about global atmospheric change. *Journal of Research in Science Teaching*, 35, 5, 521-546.

Santomé, J.T. (1998). *Globalização e interdisciplinaridade: o currículo integrado*. Porto Alegre: Editora Artes Médicas Sul Ltda.

Schummer, J. (1997a). Scientometric studies on chemistry I: the exponential growth of chemical substances, 1800-1995. *Scientometrics*, 39, 1, 107-123.

Schummer, J. (1997b). Scientometric studies on chemistry II: aims and methods of producing new chemical substances. *Scientometrics*, 39, 1, 125-140.

Sisovic, D. e S. Bosovic (2000). The use of concept maps at different stages of chemistry teaching. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 1, 1, 135-144.

Zabala, A. (2002). *Enfoque globalizador e pensamento complexo: uma proposta para o currículo escolar*. Porto Alegre: Editora Artmed.

Zucco, C. (2005). A graduação em química: um novo químico para uma nova era. *Química Nova*, 28, suplemento, S11-S13.

Zucco, C.; Andrade, J.B.; Cadore, S.; Vieira, P.C. e A.C. Pinto (2004). A Formação do Químico. *Química Nova*, 27, 2, 358-362.