

Química Ambiental e Química Verde no conjunto do conhecimento químico: concepções de alunos de graduação em Química da Universidade de São Paulo

Flavio A. Maximiano, Paola Corio, Paulo Alves Porto y Carmen Fernandez*

ABSTRACT (Environmental Chemistry and Green Chemistry in the context of chemical knowledge: conceptions of undergraduate chemistry students of the University of São Paulo)

This work investigates the conceptions of undergraduate chemistry students regarding environmental chemistry and green chemistry within the structure of chemical knowledge. This study was carried out by the analysis of fourteen concept maps produced by third year students at the University of São Paulo. Analysis of the concept maps considered the manifested conceptions about environmental chemistry and green chemistry, and the relations established between them and the five traditional areas of chemistry (analytical chemistry, inorganic chemistry, organic chemistry, physical-chemistry and biochemistry). In general, students presented difficulties in expressing inclusive and integrated conceptions on the topics of environmental chemistry and green chemistry, as suggested by today's purposes for chemical education. The obtained results express the strong influence of the curricular structures of the different chemistry majors, and of the disciplinary didactic textbooks on the students' conceptions.

KEYWORDS: Environmental Chemistry, Green Chemistry, Curriculum, Concept maps

Ésta será la última sección DE ANIVERSARIO en esta ocasión en que celebramos el vigésimo. El tema es el de la Química Verde. Como una muestra de cómo se dispersa la Química Verde en el terreno de la investigación y la educación, en los días 25-25 del mes de junio de 2009 acaba de desarrollarse la 15th Annual Green Chemistry & Engineering Conference, en College Park, Mariland, con las siguientes siete líneas de trabajo:

1. Transformación de la Química y la Ingeniería verdes
2. Análisis del ciclo de vida y la Verdemétrica
3. Toxicología: Destino ambiental y efectos
4. Combustibles para energía renovable y su alimentación
5. Diseño de proceso y optimización
6. Manejo de gases invernadero y prevención
7. Educación Integral en Química e Ingeniería verdes

No cabe duda de que la Química Verde llegó para quedarse. *Educación Química* agradece al Dr. Jorge G. Ibáñez Cornejo por todo el trabajo involucrado desde el diseño hasta la publicación de este número.

Resumen

Este trabajo investiga las concepciones de los alumnos de la carrera de Química de la Universidad de Sao Paulo respecto al estatus de la Química Ambiental y la Química Verde con relación al conjunto del conocimiento químico. El estudio fue realizado sobre un conjunto de catorce mapas conceptuales producidos por alumnos del tercer año. En el análisis de los mapas se consideraron las concepciones manifestadas respec-

to a la Química Ambiental y la Química Verde, y a sus relaciones establecidas entre ellas y las cinco áreas tradicionales de la química (analítica, inorgánica, orgánica, fisicoquímica y bioquímica). De modo general, los alumnos encontraron dificultades en expresar concepciones incluyentes e integradoras respecto de la Química Ambiental y la Química Verde conforme sugieren los objetivos actuales de la enseñanza de la química. Los resultados muestran una influencia fuerte sobre las concepciones de los estudiantes de la estructura curricular de los diferentes cursos ofrecidos por la Universidad de Sao Paulo, así como de los libros de textos disciplinarios didácticos.

Palabras clave: química ambiental, química verde, currículo, mapas conceptuales

* Instituto de Química, Universidade de São Paulo, CP 26077-CEP 05513-970, São Paulo, SP.

Correos electrónicos: famaxim@iq.usp.br, paola@iq.usp.br, palporto@iq.usp.br, carmen@iq.usp.br

Introdução

A subdivisão da química em cinco áreas (química analítica – QA, química inorgânica – QI, química orgânica – QO, físico-química – FQ e bioquímica – BQ) ainda prevalece nos currículos de graduação em química, apesar das recentes mudanças curriculares e da inserção de novas abordagens para o ensino. M. J. Goedhart (2007) atribui a persistência dessa estrutura a dois fatores principais: a organização institucional das Universidades, nas quais departamentos e grupos de pesquisa tradicionalmente reproduzem essas áreas; e os livros didáticos utilizados nos cursos de graduação, que geralmente são introdutórios às áreas.

Por outro lado, atualmente se requer diferentes abordagens para o ensino de química. A escalada dos problemas ambientais, e uma série de implicações econômicas deles decorrentes, coloca novos desafios aos profissionais de química. Segundo U. Zoller (2005), as novas demandas na formação do químico incluem: passar do ensino disciplinar para o interdisciplinar; e passar da ênfase na aprendizagem de algoritmos para habilidades cognitivas de ordem superior, tais como formulação de perguntas, pensamento crítico sistemático, resolução de problemas, tomada de decisões, raciocínio avaliativo. A Química Ambiental, devido a suas características —ser interdisciplinar, relevante, aplicada, integradora, repercutir junto ao público em geral, e ser global em sua abrangência— deve ocupar um papel de fundamental importância na formação dos químicos (Zoller, 2005). A perspectiva adquirida no estudo da Química Ambiental, tanto em termos do desenvolvimento das habilidades cognitivas de ordem superior, como da necessária consciência para a sustentabilidade, deverá orientar a atuação do profissional de química seja no sistema produtivo, seja como educador em quaisquer níveis de ensino.

O objetivo deste trabalho é investigar como os estudantes de graduação em química da Universidade de São Paulo (USP) entendem a relação entre as áreas tradicionais e as “novas áreas” da química. Considerou-se para investigação as concepções dos alunos a respeito de “Química Ambiental” e de “Química Verde”. Diversas razões levaram à escolha dessas concepções. A Química Ambiental pode ser entendida como um campo de estudo para o qual convergem as áreas tradicionais da química, a fim de estudar um objeto complexo, isto é, o ambiente. Por outro lado, “Química Ambiental” é também uma das habilitações oferecidas pelo IQ-USP (Instituto de Química da USP) em seus cursos noturnos de graduação. Os graduandos em Química Ambiental cursam diversas disciplinas que exibem esse nome, ou de compartimentos do ambiente (exs.: química das águas; química da atmosfera), ao lado de disciplinas cujos nomes remetem às cinco áreas tradicionais. Considerando isso, buscamos investigar se os alunos desenvolveram uma concepção mais abrangente da Química Ambiental, ou se a viam como mais uma área da química, refletindo, neste último caso, a estrutura curricular do curso de graduação. Nesse sentido, existe ainda mais um elemento a considerar: no curso diurno de Bacharelado em Química, não existe a habilitação em Química Ambiental, e os alunos cur-

sam apenas uma disciplina com esse nome, no último semestre da graduação. Assim, é possível comparar as concepções dos alunos dos cursos diurnos e noturnos, e verificar se as diferentes estruturas curriculares resultam em diferentes idéias acerca da Química Ambiental e de suas relações com as áreas tradicionais da química.

Outro conceito escolhido por seu potencial de promover a integração do conhecimento químico foi o de “Química Verde”. Química Verde pode ser definida como “a invenção, o desenvolvimento e a aplicação de produtos e processos químicos visando reduzir ou eliminar o uso e a geração de substâncias perigosas” (Anastas e Kirchhoff, 2002). Por outro lado, como apontado por Mestres (2005), a conexão entre os objetivos da Química Verde, seus conceitos, e as áreas de pesquisa a ela relacionadas, nem sempre ficam claramente expressos. Se isso é observado entre especialistas e pesquisadores, torna-se importante investigar como essa integração está sendo feita (ou não) entre os estudantes. Parece claro, por um lado, que o conceito de Química Verde está fortemente associado ao de Química Ambiental. Entretanto, para efeito deste nosso trabalho há uma diferença importante: não há qualquer disciplina nos currículos do IQ-USP com o nome de “Química Verde”, em nenhuma das habilitações oferecidas. Assim, havia a expectativa de que os alunos pudessem incluir esse conceito em seus mapas em situações de integração das diversas áreas da química.

Metodologia

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 (designados, daqui por diante, como BAC), e 27 nos cursos noturnos de Bacharelado em Química Ambiental e Licenciatura em Química (designados como QAL). Esses alunos, divididos em equipes, produziram um total de 14 mapas conceituais, que constituíram o objeto de estudo desta pesquisa. 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 (1990b).

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. 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 conceituais entregues.

Resultados e discussão

Química Ambiental

A Tabela 1 mostra o status recebido pela Química Ambiental em comparação com aquele recebido pelas áreas tradicionais da química nos mapas conceituais produzidos por grupos de alunos das diferentes modalidades.

Observa-se que apenas 50% dos mapas produzidos por alunos do curso BAC (3 de 6 mapas) incluem a Química Ambiental (QAmb), comparados aos 87% daqueles produzidos por alunos dos cursos QAL (7 de 8 mapas) que incluem essa área de estudo da química. Como era de se esperar, os currículos são determinantes da maneira como os alunos concebem a QAmb. Assim, as duas equipes que vêem a QAmb como habilitação profissional são dos cursos QAL (no qual essa habilitação é oferecida), assim como outras duas que emprestam à QAmb o mesmo status que às cinco áreas tradicionais. Na figura 1 apresentamos um exemplo de mapa conceitual em que QAmb aparece como uma habilitação profissional,

Tabela 1. Status da Química Ambiental observado nos mapas produzidos pelos alunos dos cursos de Bacharelado em Química (BAC) e Bacharelado em Química Ambiental e Licenciatura em Química (QAL).

Status da Química Ambiental	Número de mapas		
	Curso: BAC	Cursos: QAL	Total
Mesmo que o das áreas tradicionais	1	2	3
Outro	2	3	5
Habilitação profissional	—	2	2
(ausente)	3	1	4
Total	6	8	

e na figura 2 um exemplo em que QAmb apresenta status equivalente às áreas tradicionais da química. Ambos os mapas foram produzidos por alunos dos cursos de QAL.

Entre os alunos do curso BAC, no qual a QAmb tem uma participação bem menor no currículo, apenas um dos grupos atribuiu tanto destaque à QAmb. As outras duas equipes do curso BAC que incluíram a QAmb em seus mapas o fizeram de maneiras diferentes. Uma delas incluiu a QAmb com uma única conexão, como uma aplicação do “desenvolvimento de métodos analíticos”, isto é, diretamente subordinada à química analítica (QA) (Figura 3).

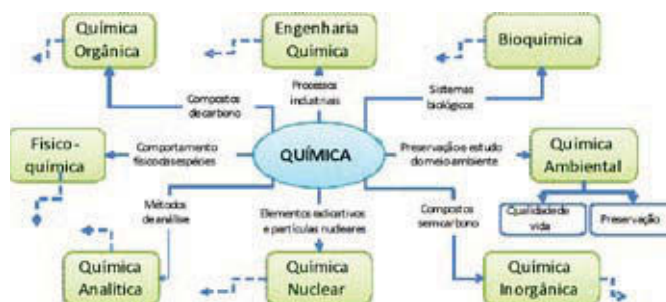


Figura 2. Fragmento de mapa conceitual incluindo a QAmb com o mesmo status das áreas tradicionais, produzido por alunos dos cursos QAL.

Figura 1. Fragmento de um dos mapas, produzido por alunos dos cursos QAL, no qual a QAmb aparece como uma habilitação profissional, ao lado da Licenciatura, da Química Tecnológica e da Bioquímica (estas duas últimas correspondem ao Bacharelado com Atribuições Tecnológicas e ao Bacharelado com Atribuições Biotecnológicas, duas modalidades oferecidas aos alunos do IQ-USP).

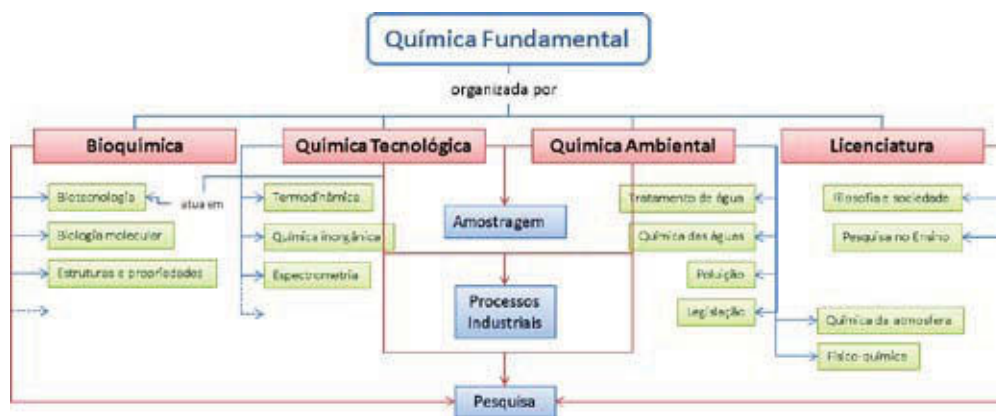




Figura 5. Fragmento de um mapa conceitual no qual a QAmb não tem o mesmo status que as quatro áreas tradicionais.

fundamentos de Química Ambiental, de educação ambiental e de ensino de ciências de forma geral.

Em um terceiro mapa (Figura 5), a QAmb também recebe uma conexão com “Educação” mas, neste caso, QAmb é um descritor independente, subordinado diretamente ao conjunto das quatro áreas QA, QI, QO e FQ (tendo o mesmo status, por exemplo, da eletroquímica e da termodinâmica), e rela-

Tabela 2. Status da Química Verde observado nos mapas produzidos pelos alunos dos cursos de Bacharelado em Química (BAC) e Bacharelado em Química Ambiental e Licenciatura em Química (QAL).

Mapa	Status da Química Verde	Idéias associadas	Áreas associadas	Destaque dado à Química Verde
Fig. 4	aplicação da química	sínteses utilizando QV; polímeros; materiais; química de superfícies	QAmb (QV liga FQ, QI e QO à QAmb)	pequeno
Fig. 6	auxiliar para o ensino	reações verdes; reciclagem; processos industriais	QAmb e QInd	médio
Fig. 7	auxiliar para o ensino	auxilia a integração entre meio ambiente e educação	QAmb e Ensino de Química	médio
Fig. 5	aplicação da química	produção mais limpa; coeficiente de partição liga QV e QAmb à química do solo	QAmb e QInd	grande
Fig. 8	área da química	desenvolve novas tecnologias; estuda poluição	QO	grande

cionado também a “Química Verde”, “química do solo” e “química das águas”.

Química Verde

O conceito “Química Verde” aparece explicitamente em cinco dos mapas analisados, conforme mostra a Tabela 2.

Dos cinco mapas em que a Química Verde (QV) é mencionada, apenas um foi produzido por alunos do curso BAC. Nele, a QV aparece com pequeno destaque: é o único dos cinco no qual a Química Verde aparece sobre uma seta de conexão, e não em um retângulo que representa conceitos a serem ligados (Figura 4). Prevalecem as

associações da QV com a QAmb. Em um dos mapas, a QV tem o status de uma área da química, e nele não aparece o rótulo “QAmb”; assim, os alunos adotaram QV como sinônimo de QAmb (Figura 6).

Em dois dos cinco mapas, a QV também se relaciona à química industrial, sugerindo que os alunos associam a QV a modificações nos processos produtivos. Também em dois dos mapas a QV aparece como auxiliar para o ensino de química, ou como sendo importante conceito introdutório no contexto da QAmb. Assim, esses alunos parecem atribuir à QV o papel de orientadora das atividades do químico, ou seja, de uma atitude a ser assimilada em todas as suas esferas de atuação – como as próprias noções de segurança em laboratório, as quais, por sinal, aparecem com o mesmo tipo de status da QV em um desses mapas (Figura 7).



Figura 6. Fragmento de mapa conceitual no qual “QV” parece ser usado como sinônimo de “QAmb”.

Vale observar também que, em um dos mapas, a QV aparece diretamente conectada à QO (Figura 8), corroborando uma observação feita por Mestres (2005): considerando que a QV está muito relacionada à fabricação de substâncias (a maioria das quais são orgânicas), e que muitos dos poluentes são compostos de carbono, muitos químicos são levados a pensar que existem “elos fortes e quase exclusivos entre a Química Verde e a química orgânica” – idéia com a qual o autor não concorda.

Conclusões

A utilização de mapas conceituais mostrou-se uma estratégia útil tanto para promover a reflexão dos graduandos a respeito da ciência química, sua natureza e sua organização como para diagnosticar o conhecimento desses estudantes a respeito dessa temática e analisar as relações que os mesmos estabeleceram entre QAmb, QV e as demais áreas tradicionais da Química. A análise da presença da Química Ambiental e da Química Verde nos mapas fornece evidências de que a estrutura curricular tem forte influência sobre as concepções dos alunos acerca da estrutura do conhecimento químico. Nos mapas dos alunos do curso de Bacharelado em Química, no qual essas 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 áreas aparecem em alguns casos com tanto destaque quanto as cinco áreas tradicionais.

Mais difícil de observar, entretanto, foi uma concepção que colocasse a Química Ambiental em um situação de convergência das áreas tradicionais da química – mesmo entre os alunos da habilitação em Química Ambiental. O mesmo se pode dizer em relação à concepção de Química Verde não como uma sub-disciplina, mas como uma filosofia de trabalho a orientar a atuação do profissional de química em seus diferentes aspectos. Entretanto, nos mapas em que ela aparece, em geral a Química Verde ocorre em situações mais integradoras de áreas diferentes do que a própria Química Ambiental. De todo modo, o desenvolvimento de concepções mais elaboradas a respeito de Química Ambiental e de Química Verde entre os alunos do IQ-USP, em consonância com as propostas atuais para o ensino de química, deverá requerer mudanças substanciais nas características atuais de seus cursos de graduação.

Promover reflexões sobre a natureza do conhecimento químico pode auxiliar os estudantes a compreender melhor seus significados. Este trabalho fornece indícios acerca da influência que o currículo exerce sobre a visão dos estudantes, sugerindo fortemente que os aspectos curriculares devam ser objeto de reflexão. Se o objetivo é fazer com que os alunos desenvolvam uma visão integrada da ciência química, o esforço para isso não deve ficar restrito a uma disciplina, mas tal visão precisa ser dispersa pelo currículo. Sendo assim, este trabalho traz elementos importantes para se pensar o currículo de química praticado no IQ-USP e subsidiar as alterações necessárias.

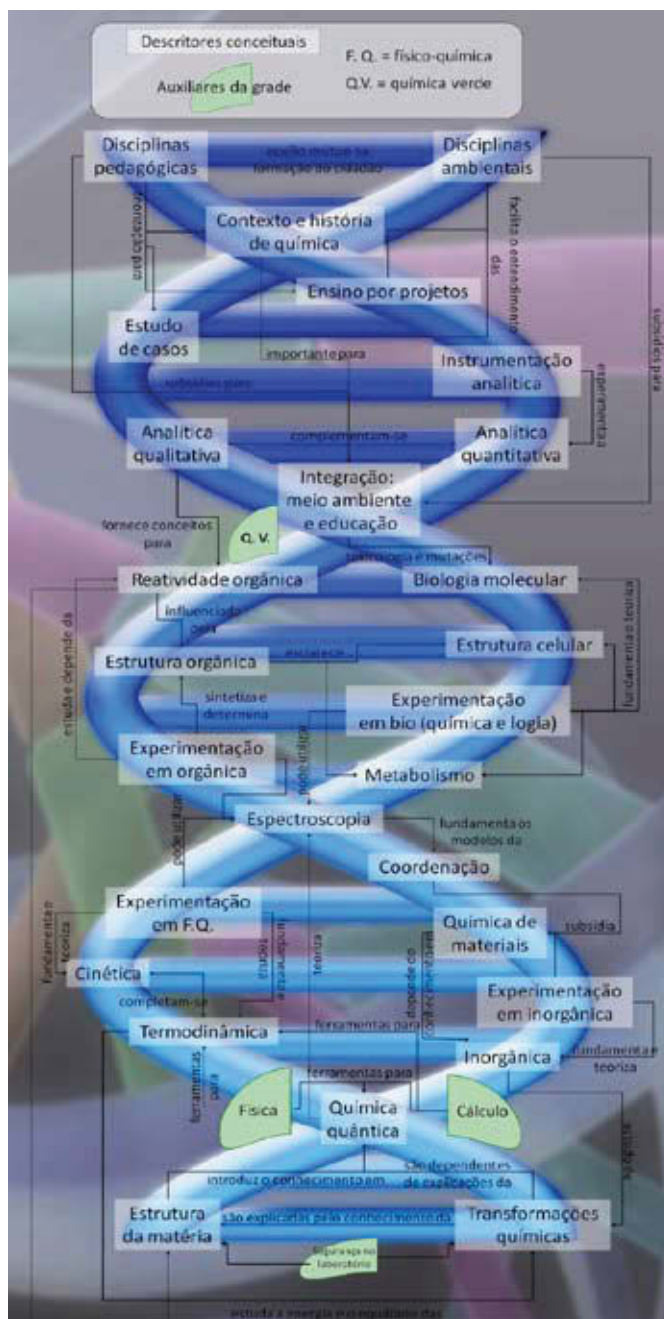
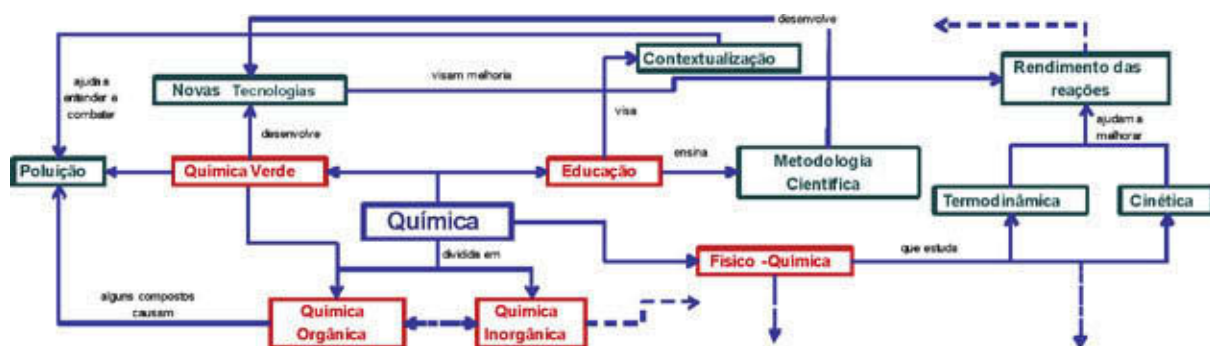


Figura 7. Mapa conceitual que mostra a área de ensino de química fortemente relacionada à área de Química Ambiental. O mapa apresenta a Química como ciência, sendo que, na parte superior do mapa, aparece a preocupação de como ensinar essa ciência. Chama a atenção a centralidade atribuída a três conceitos: “Química Quântica”, “Espectroscopia” e “Integração: meio ambiente e educação”. As cinco áreas tradicionais, embora não estejam explicitadas pelos seus nomes, podem ser reconhecidas nos braços da “dupla hélice”, havendo um grande número de relações entre elas, especialmente nos três nós apresentados como centrais. Destaca-se aqui a “Bioquímica”, que aparece na figura da “dupla hélice” como pano de fundo, sugerindo que todas as demais áreas são alicerces para estudá-la.

Figura 8. Fragmento de mapa conceitual no qual a QV aparece conectada à QO.



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 e Pró-Reitoria de Pesquisa da USP.

Referências

Anastas, P.T. e Kirchoff, M.M., Origins, current status, and future challenges of Green Chemistry, *Accounts on Chemical Research*, 35(9) 686-694, 2002.
 Driver, R., Students' conceptions and the learning of science, *International Journal of Science Education*, 11(5), 481-490, 1989.
 Goedhart, M.J., A new perspective on the structure of che-

mistry as a basis for the undergraduate curriculum, *Journal of Chemical Education*, 84(6), 971-976, 2007.

Mestres, R., Green Chemistry: Views and Strategies, *Environmental Science & Pollution Resesearch*, 12(3), 128-132, 2005.

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

Novak, J.D., Concept Maps and Vee Diagrams: Two Metacognitive Tools to Facilitate Meaningful Learning, *Instructional Science*, 19(1), 29-52, 1990b.

Zoller, U., Education in Environmental Chemistry: Setting the Agenda and Recommending Action, *Journal of Chemical Education*, 82(8), 1237-1240, 2005.