

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/372986479>

USO DE CRISTAIS PARA O ENSINO DO CONCEITO DE LIGAÇÕES QUÍMICAS NA FORMAÇÃO INICIAL DE PROFESSORES DE CIÊNCIAS

Conference Paper · August 2023

CITATIONS

0

READS

19

2 authors:



Hélio Viana

Universidade Federal de São Paulo

5 PUBLICATIONS 0 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Daniel Atencio

University of São Paulo

326 PUBLICATIONS 1,193 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Crystallography [View project](#)



Estudo integrado de geologia, mineralogia e caracterização tecnológica do minério com vistas à exploração de ETRP em Pitinga (AM). Avaliação do potencial para ETRP de granitos análogos na Província Estanífera de Goiás". [View project](#)

Uso de cristais para o ensino do conceito de ligações químicas na formação inicial de professores de ciências

Hélio Elael Bonini Viana* (PQ); Daniel Atencio (PQ).

*hebviana@unifesp.br; datencio@usp.br

Palavras-Chave: cristais, ligações químicas, ensino de química.

RESUMO: CRISTAIS ESTÃO PRESENTES EM DIVERSOS MATERIAIS EMPREGADOS EM NOSSO COTIDIANO, POSSUINDO BRILHOS E FORMAS QUE PODEM SER ÚTEIS COMO UMA MANEIRA DE FOMENTAR RELAÇÕES ENTRE O MACROSCÓPICO E O MICROSCÓPICO, LEVANDO A UM DEBATE SOBRE COMO AS PARTÍCULAS ESTÃO INTERAGINDO QUIMICAMENTE NAS DIFERENTES FORMAS CRISTALINAS. DESSA MANEIRA, A CRISTALOQUÍMICA FOI CONSIDERADA COMO UMA ALTERNATIVA PARA O ENSINO DE LIGAÇÕES QUÍMICAS PARA TURMAS DE CALOUROS DO CURSO DE CIÊNCIAS - LICENCIATURA DA UNIFESP (CAMPUS DIADEMA) DURANTE A PANDEMIA (ANO 2021), E PASSOU-SE A BUSCAR ATIVIDADES EXPERIMENTAIS COM MATERIAIS DE BAIXO CUSTO. ASSIM, OBJETIVO DESSE TRABALHO ESTÁ EM INVESTIGAR COMO O EMPREGO DE PRÁTICAS EXPERIMENTAIS ENVOLVENDO CRISTAIS PODEM TRAZER MELHORIAS PARA O ENSINO-APRENDIZAGEM DO ENSINO DO CONCEITO DE LIGAÇÕES QUÍMICAS. O PERCURSO METODOLÓGICO ENVOLVEU: 1) LEVANTAMENTO ACERCA DE CONCEPÇÕES SOBRE O USO DE CRISTAIS NO COTIDIANO, 2) DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO ATIVIDADES (VIA REMOTA), QUE PRIVILEGIARAM A SÍNTESE DE CRISTAIS, ENSAIOS DE AQUECIMENTO E TESTES DE CONDUTIVIDADE E CONDUTIBILIDADE EM MEIO AQUOSO E 3) COMPILAÇÃO DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS E SUAS JUSTIFICATIVAS EM UMA TABELA. TENDO EM VISTA OS RESULTADOS DESSAS ATIVIDADES, FICA CLARO A NECESSIDADE DE NOVAS ATIVIDADES PARA QUE OS DISCENTES POSSAM ARTICULAR AS DIMENSÕES DESTACADAS NO TRIÂNGULO JOHNSTONE (FENOMENOLÓGICO, TEÓRICO-CONCEITUAL E REPRESENTACIONAL).

INTRODUÇÃO

Mesmo que por ventura não sejam percebidos, cristais estão presentes em diversos materiais empregados em nosso cotidiano, tais como pisos, bancadas, alimentos e objetos de adorno e/ou decoração. Não só por isso, mas seus brilhos e formas podem ser úteis como uma maneira de fomentar relações entre o macroscópico e o microscópico, levando a um debate sobre como as partículas estão interagindo quimicamente nas diferentes formas cristalinas.

No que diz respeito às ligações químicas, vale a pena observar que livros didáticos de Química, nos diferentes níveis de ensino, apresentam esse conceito de maneira estanque, definindo e caracterizando as ligações em grupos supostamente excludentes (iônicas, covalentes e metálicas). Talvez em razão disso, são inúmeras as dificuldades de ensino-aprendizagem relacionadas às ligações químicas – confusões entre os tipos de ligações, utilização indiscriminada da regra do octeto, equívocos inerentes às energias envolvidas na formação/ruptura de ligações e ideias errôneas sobre geometria molécula e polaridade –, sendo nítidos os problemas de representação e a frágil conexão entre esse importante tópico e as propriedades físico-químicas dos materiais (FERNANDEZ & MARCONDES, 2006).

Como forma de sobrepujar essas fragilidades, as disciplinas de Química Geral poderiam discutir ligações químicas a partir de uma abordagem pautada nas relações

energéticas entre as partículas, correlacionada à natureza e à utilização de materiais extrativos e sintéticos, evidenciando assim cada caráter de uma dada ligação química (BOO, 1998). Vale destacar também que, dentro do escopo de uma aprendizagem em espiral (BRUNER, 1973), o conceito de ligações químicas poderia ser retomado – com outro grau de profundidade – durante a discussão de conteúdos como dispersões (hidratação de íons e/ou moléculas), funções inorgânicas (estruturas cristalinas), entalpia de dissolução (energias de rede e de hidratação), equilíbrios químicos de solubilidade (formação de estruturas cristalinas) e número de oxidação (fórmulas químicas de minerais). Nesse ínterim, a Mineralogia e a Cristalografia podem trazer valiosas contribuições para a compreensão da natureza das ligações químicas, propiciando uma série de modelos didáticos que poderiam ser úteis para a elaboração de novos modelos mentais por parte dos discentes (GALAGOVSKY & ADÚRIZ-BRAVO, 2001).

Partindo da premissa que a inclusão da discussão de tópicos ligados à Mineralogia e à Cristalografia podem trazer benefícios para o aprendizado do conceito de ligações químicas – e para outros conceitos fundamentais da química em cursos superiores –, urge a necessidade de propostas que possibilitem essa discussão. Analisando o conteúdo de livros didáticos (LDs) de Química Geral, é possível observar a presença, além das seções destinadas às ligações químicas, de outros alguns ligados à mineralogia/cristalografia, tais como os tipos de dispersões e os equilíbrios químicos relacionados à formação de precipitados. Logo, as oportunidades para uma interface são notórias.

Diante das benesses que podem ser propiciadas pela Cristaloquímica para o ensino de química, este trabalho tem o objetivo de investigar como atividades experimentais nesse campo de estudo podem contribuir com a melhoria do ensino/aprendizagem do conceito de ligações químicas uma disciplina de Química Geral oferecida no curso de graduação de Ciências – Licenciatura da Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP) – *Campus* Diadema. Vale ressaltar que devido à pandemia de COVID-19, as atividades foram aplicadas via remota, no ano de 2021, mediante o *Google Classroom*. Além disso, os pesquisadores envolvidos neste trabalho não eram os docentes responsáveis pela disciplina ofertada.

No tópico seguinte será discutido o alicerce teórico relacionado aos diferentes tipos de cristais no tocante às constituições químicas. É importante deixar claro que discutiremos cristais, sejam eles naturais ou artificiais, como sendo materiais constituídos por uma estrutura interna tridimensional periódica (CHVÁTAL, 2007) – ou seja, a abordagem dos diferentes tipos de cristais terá como premissa um viés científico e não um viés do senso comum (no qual o termo “cristal” é empregado, por exemplo, para designar um tipo especial de vidro).

A CRISTALOQUÍMICA

Pode-se entender a Cristaloquímica como uma área da Cristalografia que faz uso de diversos conceitos químicos (estrutura atômica, tabela periódica, configuração eletrônica, potencial de ionização, eletronegatividades, raios atômicos e iônicos, entre outros) para conhecer o modo como as partículas estão organizadas nos diferentes tipos de cristais (covalentes, metálicos e iônicos). Estes materiais possuem propriedades físico-químicas que podem ser averiguadas facilmente em um laboratório (tais como dureza, ponto de fusão, expansibilidade térmica, condutividades – térmica, elétrica e acústica, ductilidade, entre outras) (BLOSS, 1971; VAN VLACK, 1984).

Os cristais iônicos, presentes na maioria dos minerais, são formados por ânions, organizados em um empacotamento compacto, com os cátions preenchendo alguns interstícios desse arranjo. Logo, a ligação química é predominante iônica – as partículas envolvidas apresentam uma diferença de eletronegatividade igual ou superior a 1,7. Seguindo as regras de Pauling, a valência eletrostática e relação entre os raios iônicos influenciarão no tipo de empacotamento e, conseqüentemente no caráter iônico/ covalente das ligações químicas estabelecidas. Apesar das ligações químicas entre cátion e ânion serem, em geral, predominantemente iônicas, as ligações presentes nos ânions compostos – tais como silicato (SiO_4^{4-}), carbonato (CO_3^{2-}), sulfato (SO_4^{2-}), nitrato (NO_3^-), hidroxila (OH^-), entre outros – apresentam um caráter iônico/ covalente definido em função da eletronegatividade dos átomos presentes nas respectivas espécies químicas. Por exemplo, no ânion SiO_4^{4-} as ligações existentes são 50% iônicas e 50% covalentes; já no ânion CO_3^{2-} as ligações são predominantemente covalentes. Dessa forma, as estruturas formadas pelos íons nos cristais podem ser descritas pela classificação de Lima de Faria, a qual faz menção aos íons grandes com seu empacotamento e aos íons pequenos e suas disposições nos interstícios. De acordo com essa representação, a halita (NaCl , com ligações predominantemente iônicas) possuiria uma estrutura do tipo AoXc – com o ânion X apresentando um empacotamento cúbico e os cátions A formando um octaedro através da sua disposição nos interstícios. Vale ressaltar que a estimativa raio cátion/ raio ânion para determinação do número de coordenação só é plausível quando a ligação for predominantemente iônica (BLOSS, 1971).

Os cristais covalentes são formados principalmente por átomos unidos através ligações químicas predominantemente covalentes, ou seja, quando a diferença de eletronegatividade entre as partículas envolvidas for inferior a 1,7. Este tipo de ligação química pode ser explicado pelo compartilhamento de elétrons que podem ser os da camada de valência (teoria de Lewis) ou os presentes em orbitais – em muitos casos híbridos – mais externos (teoria da ligação de valência). Por exemplo, a estrutura do diamante pode ser compreendida a partir das ligações simples entre os átomos de carbono no espaço – consequência da sobreposição de orbitais híbridos sp^3 (ligações sigma) desses átomos – com a disposição dessas partículas explicando, dentre outras propriedades, a elevada dureza desse sólido cristalino. Diferentemente do diamante, sua forma alotrópica carbono apresenta suas partículas dispostas ao longo de planos horizontais, com os átomos estabelecendo uma ligação dupla e duas simples – os orbitais híbridos sp^2 se sobrepõem (ligações sigma) gerando as ligações simples e uma das ligações, enquanto os orbitais p não híbridos interagem lateral (ligações pi) formando a segunda ligação que constitui as ligações duplas. No grafite, os planos de

átomos interagem em função das forças de van der Waals, tornando esse material susceptível a quebras ao longo de regiões entre esses planos de átomos – os planos de clivagem (BLOSS, 1971).

Pode-se afirmar que os cristais metálicos apresentam ligações químicas predominantemente metálicas, se restringindo na natureza aos metais nativos e a alguns sulfetos. A ligação metálica estende-se em ao longo do espaço a partir de um átomo central, sendo caracterizada por um fraco compartilhamento dos elétrons (átomos metálicos possuem baixas energias de ionização e afinidades eletrônicas): se um átomo é circundado por 12 outros, o seu elétron de valência é compartilhado com cada vizinho durante 1/12 do tempo. Dessa forma, a estrutura cristalina de um metal pode ser visualizada como uma rede de cátions imersos em um “mar de elétrons” móveis, representação esta que explicaria sua elevada condutividade elétrica. Metais puros possuem geralmente estruturas cristalinas nas quais suas partículas constituintes estão altamente empacotadas – como o cubo compacto (CCP) e o hexagonal compacto (HCP) que apresentam número de coordenação do átomo central igual a 12 –, fato esse que reduz a quantidade de espaços vazios. Pelas razões destacadas, é possível concluir que o aumento do caráter metálico de uma ligação a torna menos forte comparativamente ao aumento dos caracteres iônico e covalente. (BLOSS, 1971; KLEIN & HURLBUT, 1993).

As ligações de hidrogênio e as forças de van der Waals são mais comuns em cristais orgânicos do que em minerais, sendo essas interações as responsáveis pela aproximação das moléculas presentes nesses sólidos. Cristais de açúcares, aminoácidos e proteínas são exemplos de cristais que podem ter moléculas interligadas pelas ligações de hidrogênio. Forças intermoleculares como as citadas também ocorrem em cristais líquidos e cristais de compostos de coordenação, muito embora esses cristais também apresentem ligações com o caráter iônico/ covalente variável. Denominam-se cristais líquidos os materiais que apresentam uma organização intermediária entre o ordenamento de longo alcance de sólidos cristalinos e a desordem de líquidos isotrópicos e gases (exemplo: benzoato de colesterol, p-azoxianisole (PAA), entre outros), podendo ser classificados de acordo com a natureza organizacional de suas moléculas; esse comportamento faz com que estes cristais tenham propriedades comuns a um sólido cristalino (elétricas, magnéticas e ópticas) e aos líquidos (mecânicas, tais como a fluidez) (BECHTOLD, 2005). Já os compostos de coordenação, cujos cristais são frequentemente sintetizados em laboratório, são constituídos por partículas neutras (exemplo: $[\text{Ni}(\text{CO})_4]$) e/ou por partículas em que no mínimo um dos íons é um complexo (exemplo: $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}$), podendo, inclusive, assim como os cristais de compostos orgânicos que apresentam moléculas com carbono quiral, apresentar atividade óptica – basta para isso ter isômeros que admitam imagens especulares (SHRIVER & ATKINS, 2003).

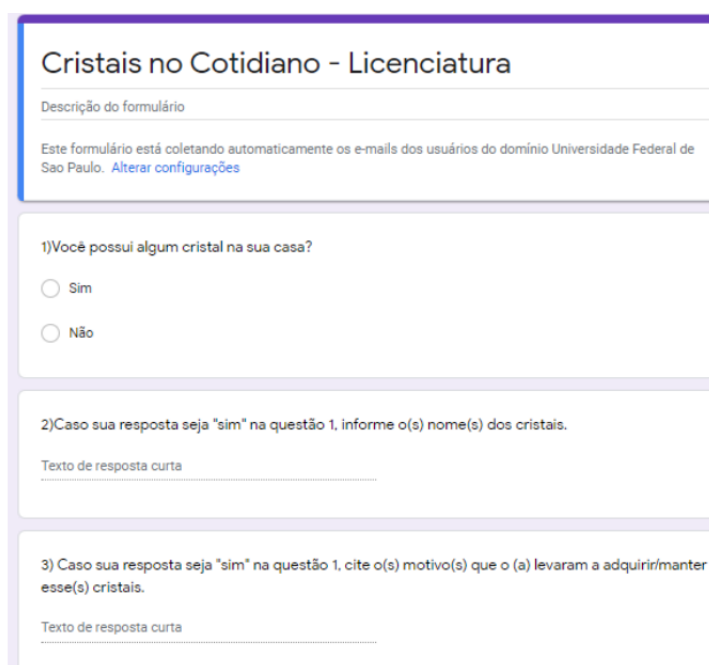
Tendo em vista os diferentes cristais, uma discussão pautada em minerais semelhantes de um mesmo grupo aniônico – como o caso da pirita, marcassita, arsenopirita, a calcopirita e a pirrotita (todos sulfetos) – pode ser um interessante modo de explorar concomitantemente conceitos básicos de mineralogia/cristalografia e as ligações químicas em uma disciplina de Química Geral: apesar de apresentarem algumas características macroscópicas comuns aos cristais metálicos, estes sulfetos possuem sistemas cristalinos específicos nos quais suas partículas estabelecem

ligações com os caracteres iônico e metálico (é importante destacar que, dentre os minerais citados, a pirrotita é a único que apresenta propriedades magnéticas) (LICCARDO & CHODUR, 2014).

Com base nos aspectos comentados acerca da Cristaloquímica, no próximo tópico passaremos a discorrer sobre o percurso metodológico adotado para a realização de atividades experimentais em um contexto pandêmico.

PERCURSO METODOLÓGICO

Inicialmente foi feito um levantamento via *Google Forms* para verificar se estudantes possuíam algum cristal em casa, citando nomes e os motivos de terem esses objetos. Após feito isso, deu-se início ao preparo das atividades experimentais.



Cristais no Cotidiano - Licenciatura

Descrição do formulário

Este formulário está coletando automaticamente os e-mails dos usuários do domínio Universidade Federal de São Paulo. [Alterar configurações](#)

1) Você possui algum cristal na sua casa?

☐ Sim

☐ Não

2) Caso sua resposta seja "sim" na questão 1, informe o(s) nome(s) dos cristais.

Texto de resposta curta

3) Caso sua resposta seja "sim" na questão 1, cite o(s) motivo(s) que o (a) levaram a adquirir/manter esse(s) cristais.

Texto de resposta curta

Figura 1: Questionário “Cristais no Cotidiano”. Fonte: GoogleForms.

As atividades experimentais, desenvolvidas durante a pandemia no ano de 2021, privilegiaram a síntese de cristais, ensaios de aquecimento e testes de condutividade e condutibilidade em meio aquoso. Essas práticas foram retiradas de Ciscato & Beltran (1991) e de Costa & Andrade (2014), adaptadas para serem realizadas em ambiente doméstico com materiais de baixo custo. Após feito isso, foram gravados vídeos dos experimentos com um celular *Iphone 08* e disponibilizados para os alunos em uma pasta do Google Drive (acompanhado de uma apresentação e um roteiro experimental). Também nesta pasta foi disponibilizada uma tabela (tabela 01), na qual os resultados observados deveriam ser registrados, e o encontro síncrono gravado. Os materiais com a letra C entre parênteses foram testados na forma cristais macroscópicos.

Tabela 1: Compilação dos testes realizados.

Sólido/ Cristal (coluna 1)	Fórmula Química (coluna 2)	Condutivi- dade elétrica no estado sólido (coluna 3)	Condutibili- dade elétrica no meio aquoso (coluna 4)	Comporta- mento quando aquecido (coluna 5)	Ligações/ interações químicas (coluna 6)	Estrutura cristalina (represent ação das partículas)	Justificativa (colunas 3, 4 e 5)	Como é obtido ?	Principais usos
Alumínio									
Pirita (C)									
Aço									
Quartzo (C)									
Grafite									
Gelo									
Vidro									
Naftalina									
Sacarose (C)									
Enxofre									
Cânfora									
Cloreto de sódio (C)									
Cloreto de magnésio									
Gesso									
Talco									
Sulfato de cobre II (C)									

Os discentes participantes desta pesquisa (58 no total) fazem parte do curso de Ciências – Licenciatura e estavam na época cursando a disciplina de Átomos e Moléculas (oferecida para os calouros, ingressantes pelo Sistema de Seleção Unificada (SISU), com 100 vagas ofertadas anualmente (50 vagas vespertino; 50 vagas noturno)). Tomando por base o Projeto Pedagógico do Curso (PPC) vigente desse curso, são três as disciplinas que abarcam o conteúdo de Química Geral: 1) Átomos e Moléculas; 2) Misturas, Soluções e Reações e 3) Espontaneidade e Cinética. A disciplina de “Átomos e Moléculas” contempla conceitos básicos de química (átomos, elementos químicos, substâncias e ligações/interações químicas), ao passo que a disciplina “Misturas, Soluções e Reações” abrange toda parte do cálculo de soluções, além do equacionamento das reações químicas e do cálculo estequiométrico. Por fim, a disciplina “Espontaneidade e Cinética” aborda basicamente conceitos de termoquímica, cinética química e equilíbrio químico.

Caberia aos estudantes, após assistirem os vídeos e lerem os materiais disponibilizados, entregarem, individualmente, a tabela 01 preenchida (prazo para a entrega dessa atividade: 01 semana). Com base na tabela 01, foram analisadas as frequências de respostas para cada uma das células das colunas 03 a 06. Já as análises das justificativas dos fenômenos (coluna 07) e representações (coluna 08)

tiveram o propósito de verificar a compreensão dos fenômenos a partir das teorias relacionadas às ligações/interações químicas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O questionário aplicado sobre uso de cristais no cotidiano aponta que a maioria dos estudantes afirma não possuir cristais em suas residências. Dentre aqueles que afirmam possuir, os exemplos mais citados são o quartzo (em primeiro lugar), a ametista, a opala e pirita. Desse modo, podemos perceber que os estudantes têm uma concepção de cristal ligada a sua forma geométrica relacionada e ao seu brilho, mostrando-se distantes da definição que aponta para cristais como sendo materiais constituídos por uma estrutura interna tridimensional periódica.

1) Você possui algum cristal na sua casa?
58 respostas

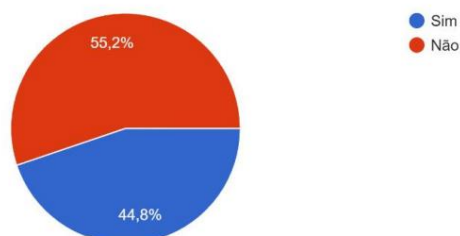


Figura 2: Distribuição dos alunos do curso de Ciências- Licenciatura da UNIFESP- Campus Diadema (ano 2021) que afirmam possuir ou não cristais em sua residência. Fonte: GoogleForms.

Os experimentos realizados contribuíram com o engajamento dos discentes. Uma prova disso foram os questionamentos de estudantes do curso de Ciências - Licenciatura acerca da mudança de coloração dos cristais durante a evaporação do solvente (água) em processos de recristalização – mesmo não sendo uma atividade avaliativa, muitos estudantes tentaram fazer cristais em suas residências.



Figura 3: Cristal de NaCl. Fonte: discente M.R.A.G.

Foram constatados problemas na diferenciação entre sólidos/cristais covalentes moleculares, principalmente pela falta de menção às forças intermoleculares. Apesar dos livros didáticos de Química Geral abordarem o diagrama triangular para as ligações químicas – também conhecido com o diagrama de Ketelaar –, não foi verificada nenhuma menção ao caráter de uma dada ligação química. Também pode-se perceber que não houve a diferenciação entre ligações predominantemente covalentes e ligações predominantemente iônicas em uma dada substância. Por exemplo, no caso do gesso (CaSO_4) somente as ligações iônicas foram identificadas.

Situações problemáticas como a condutividade elétrica da pirita e do grafite de lápis não foram compreendidas pelos estudantes. No caso a pirita foi classificada como iônica por 80% dos alunos, com sua condutividade foi atrelada a elétrons livres, íons livres ou sem uma justificativa. Já para o grafite, apesar dos discentes identificarem as ligações covalentes, a imensa maioria não articulou uma justificativa (92%). Logo, a estrutura do grafite, contendo interações em planos que permitem a movimentação dos elétrons, não foi compreendida.

É importante ressaltar ainda que todas as questões que envolveram representações geralmente foram deixadas em branco e, quando respondidas, mostraram estruturas cristalinas que não eram condizentes com as substâncias químicas indicadas.

Sem perder de vista as dificuldades inerentes à representação de modelos mentais envolvendo ligações químicas (COLL & TREAGUST, 2022), fica claro a necessidade de novas atividades para que os discentes possam articular as dimensões destacadas no triângulo Johnstone (macroscópico/fenomenológico, microscópico/teórico-conceitual e simbólico/representacional).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste momento (agosto/2022) estes experimentos citados acabaram de ser realizados presencialmente com turmas de Ciências-Licenciatura da UNIFESP – Campus Diadema.

A partir de setembro de 2022 serão realizados outros experimentos contemplando essa temática, abordando curvas de solubilidade, energia liberada na dissolução de compostos iônicos e equilíbrios químicos de solubilidade. Dessa maneira, em breve, mais trabalhos/artigos serão feitos dentro deste tema de pesquisa

Apesar dos resultados momentâneos não serem conclusivos, vislumbramos que, com o arrefecimento da pandemia, os alunos possam produzir seus próprios cristais em suas residências (empregando materiais baratos e de fácil acesso como o sal grosso e o açúcar comum refinado). Esse engajamento, aliado com o estímulo a diferentes modos de representação das celas unitárias dos cristais, pode corroborar com o ensino/aprendizagem do conceito de ligações/ interações químicas.

REFERÊNCIAS

BELTRAN, N.O.; CISCATO, C.A.M. Química. São Paulo: Ed. Cortez, v.2, 1991.

BLOSS, F.D. Crystallography and Crystal chemistry. Mineralogical Society of America, 1971.

BOO, H. K. Student's understandings of chemical bonds and the energetics of chemical reactions. Journal of Research in Science Teaching, v.35, p.569-581, 1998.

CHVÁTAL, M. Mineralogia para Principiantes, Cristalografia.trad. Igor de Abreu e Lima. Rio de Janeiro: SBGEO, 2007.

COLL, R.K.; TREAGUST, D. Learners' Mental Models of Chemical Bonding. Research in Science Education. v. 31, p. 357–382, 2001.

COSTA, I. S.; ANDRADE, F. R. D. de. Experimentos didáticos de cristalização. Terrae Didática, Campinas, SP, v. 10, n. 2, p. 91-104, 2015. DOI: 10.20396/td.v10i2.8637368. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/td/article/view/8637368>. Acesso em: 18 nov. 2020.

FERNANDEZ, C.; MARCONDES, M. E. R. Concepções dos estudantes sobre ligações químicas. Química Nova. n. 24, p. 20-4, nov. 2006. Disponível em: <<http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc24/af1.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2013.

GALAGOVSKY, L.; ADÚRIZ-BRAVO, A. Modelos y analogías en la enseñanza de las ciencias naturales. El concepto de modelo didáctico analógico. Enseñanza de las

ciências. v. 19, n. 2, p. 231-242, 2001. Disponível em: <<http://www.raco.cat/index.php/ensenanza/article/viewFile/21735/21569>>. Acesso em: 10 out. 2013.

KLEIN, C; HURLBUT, C.S. Manual of Mineralogy. 21^a ed. 1993.

LICCARDO, A.; CHODUR, N.L. Os Minerais – elementos da geodiversidade. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2014.

TABER, K. S. Mediating mental models of metals: Acknowledging the priority of the learner's prior learning. Science Education. v. 87, n. 5, p. 732–758, 2003. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/sce.v87:5/issuetoc>>. Acesso em: 13 nov 2014.

NEVES, P.C.P; SCHENATO, F.; BACHI, F.A. Introdução á Mineralogia Prática. 4^a ed. Canoas: Ed. ULBRA, 2018.

VAN VLACK, L.H. Princípios de Ciência e Tecnologia dos Materiais. 5^a Ed. Editora Campus, 1984