

# **Como são internalizadas as competências adquiridas quando um aluno utiliza computadores? Um exemplo de mediação cognitiva em rede durante a utilização de software de modelagem molecular**

**How are internalized skills acquired when a student uses computers? An example of cognitive mediation networks during the use of molecular modeling software.**

**Adriana de Farias Ramos**  
IFRS – Campus Porto Alegre  
adriana@ifrspoa.edu.br

**Agostinho Serrano**  
ULBRA/RS  
asandraden@gmail.com

## **Resumo**

A construção de conhecimentos no ensino de ciências a partir de situações-problema é defendida por muitos autores, em especial Laudan. Neste contexto de resolução de problemas, os conhecimentos prévios são importantes, pois, conforme Polanyi, todo novo conhecimento começa a ser desenvolvido por um conhecimento tácito que, muitas vezes não conseguimos explicar. Esse trabalho tem como objetivo apresentar uma análise de como o uso de *softwares* de modelagem molecular no ensino de química pode se tornar uma ferramenta de processamento extracerebral, e quais as possíveis modificações que ocorrem na estrutura cognitiva dos estudantes neste processo. Para tanto, utilizaremos como referencial epistemológico a Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud (TCC), associada à Teoria da Mediação Cognitiva em Rede (TMC) para explicar como a mediação por computador modifica a estrutura cognitiva dos estudantes, construindo novos conhecimentos e possibilitando novas competências.

**Palavras chave:** modelagem molecular, cognição extracerebral, ensino de química, aprendizagem mediada por computador.

## **Abstract**

The construction of knowledge in science education starting from problem situations is held by many authors, especially Laudan. In the context of problem solving, the previous knowledge are important because, according to Polanyi, all new knowledge begins to be developed by a tacit knowledge that many times we cannot explain. This work aims to present an analysis of how the use of software for molecular modeling in chemistry education can become a tool for processing extracerebral, and what possible changes that occur in students' cognitive structure in this process. For this, we will use as epistemological framework the

Vergnaud's Conceptual Fields Theory (TCC), associated to the Theory of Cognitive Mediation Network (TMC) to explain how the computer mediation modifies the student's cognitive structure, building new knowledge and enabling new skills.

**Key words:** molecular modeling, extracerebral cognition, chemistry education, computer-mediated learning.

## INTRODUÇÃO

A resolução de problemas em sala de aula é considerada uma técnica didática de grande importância e eficiência no ensino de ciências, em especial no ensino de química. Epistemologicamente, pode-se, inclusive, enxergar o fazer científico como "(...) uma atividade de solução de problemas" (LAUDAN, 2011). Laudan aponta que um dos objetivos da ciência é produzir teorias eficazes para a resolução de problemas (LAUDAN, 2011). Sob este olhar epistemológico, podemos afirmar que a resolução de problemas é uma atividade importante do processamento cerebral.

Laudan desenvolve a ideia de que tudo que observamos do mundo natural tem um olhar muito específico, pois cada observador vai utilizar os conhecimentos e pressupostos previamente existentes antes da observação para tentar compreender o que está sendo observado. Portanto, nossos conhecimentos prévios são importantes no processo de resolução de problemas, e grande parte deste conhecimento prévio utilizado é tácito (POLANYI, 1958). Para Polanyi, todo o novo conhecimento começa a ser desenvolvido por um conhecimento tácito que, muitas vezes, não conseguimos explicar, pois "sabemos mais do que podemos dizer" (POLANYI, 1958, p. 70).

Polanyi afirma que o conhecimento tácito é muito pessoal e exemplifica a dificuldade que temos de explicar um conhecimento tácito ao mostrar que uma pessoa pode desenvolver uma expertise sem, contudo, conseguir verbalizar como coloca em prática sua habilidade.

Esse trabalho tem como objetivo apresentar um construto teórico de como o uso de *softwares* de modelagem molecular no ensino de química pode se tornar uma ferramenta de processamento extracerebral, e quais as possíveis modificações que ocorrem na estrutura cognitiva dos estudantes neste processo, sendo que boa parte dessa estrutura cognitiva é composta de conhecimentos tácitos.

Para tanto, utilizaremos como principal referencial epistemológico a Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud (TCC), associada à Teoria da Mediação Cognitiva em Rede (TMC), por sua abordagem em relação à mediação por computador, já que o foco do nosso trabalho de pesquisa está no estudo de como ocorre a aprendizagem de conceitos químicos com a mediação por computador, em especial pelo uso de *softwares* de modelagem molecular.

Na sequência, apresentamos um exemplo de aplicabilidade das teorias abordadas, com um estudo exploratório envolvendo conceitos de estereoisomeria *cis/trans*. Temos por hipótese que, uma vez que a habilidade de visualização foi assimilada, o estudante a incorpora na sua estrutura cognitiva como um script<sup>1</sup>, liberando memória de trabalho – dentro de uma perspectiva de Teoria da Carga Cognitiva (SWELLER, 2003) – e, assim, possibilitando-o avançar na tarefa e começar a pensar em termos de modelagem molecular.

---

<sup>1</sup> O termo script foi utilizado dentro da perspectiva Piagetiana e representa um esquema já consolidado, no qual o sujeito utiliza automaticamente para algumas tarefas.

Assim iniciamos com uma breve revisão dos pontos destas teorias, que consideramos mais fundamentais nesta construção.

## **TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS (TCC)**

Essa teoria foi desenvolvida para melhor compreensão de problemas específicos dentro de um mesmo campo conceitual, e preconiza que o cerne do desenvolvimento cognitivo é a conceitualização (VERGNAUD, 1996). Portanto, o conhecimento está organizado em um conjunto de situações, caracterizadas como uma tarefa cognitiva, e conceitos. Os elementos-chave da TCC são os conceitos de campo conceitual, os de situação, de esquema, de invariantes operatórios, além da concepção de conceito trazida por Vergnaud.

Um campo conceitual é definido e composto pelos conceitos nele contidos. O significado concedido a um conceito depende de três pilares fundamentais: referente, representado pelas situações; significado, contendo os invariantes operatórios; e significante, no qual encontramos as representações simbólicas e linguagem (BARAIS; VERGNAUD, 1990).

Vergnaud trabalha a ideia de que é em situação que o estudante pode construir conhecimentos e, neste ponto, há uma clara convergência com o pensamento de Laudan. Vergnaud desenvolve a concepção de que o desafio da resolução de problemas proposto pelo professor coloca os estudantes “em situação” e assim, estes mobilizam suas estruturas cognitivas e constroem conhecimento.

Nesse sentido, diante de uma determinada situação, ou conjunto de situações, o estudante procura confrontar a nova informação com os esquemas constituídos na sua estrutura cognitiva – esquemas estes que possuem muito conhecimento tácito – a fim de tentar responder ao desafio proposto.

Um esquema<sup>2</sup> apoia-se sempre em uma conceitualização implícita (VERGNAUD, 1993), o que corrobora com a perspectiva filosófica levantada por Polanyi. Os conhecimentos contidos nos esquemas são denominados por Vergnaud de invariantes operatórios. A percepção, a busca e seleção de informação se baseiam no sistema de invariantes operatórios.

## **TEORIA DA MEDIAÇÃO COGNITIVA EM REDE (TMC)**

Souza et al. (2012) procura explicar o processamento da informação pelo cérebro, propiciando uma abordagem ampla para a cognição humana. A TMC é uma teoria contextualista e construtivista. Os autores apresentam o desafio de “fornecer uma síntese teórica coerente de teorias psicológicas e estruturais que são geralmente vistas como separadas, ou mesmo em conflito umas com as outras, de modo a produzir um modelo unificado”(SOUZA et al., 2012, pg 2321, tradução nossa).

A TMC é fundamentada e referenciada em cinco premissas relativas à cognição humana e ao processamento de dados:

(...) 1) A espécie humana tem como maior vantagem evolutiva a capacidade de gerar, armazenar, recuperar, manipular e aplicar o conhecimento de várias maneiras; 2) A cognição humana é efetivamente o resultado de algum tipo de processamento de informação; 3) Sozinho, o cérebro humano constitui

---

<sup>2</sup> O conceito de esquema da TCC é uma das heranças de Piaget. No entanto, a teoria de Piaget teve seu foco na interação entre sujeito e objeto; por outro lado, a teoria de Vergnaud tem seu foco na interação esquema-situação.

um finito e, em última instância, seu recurso de processamento de informação é limitado; 4) Praticamente qualquer sistema físico organizado é capaz de executar operações lógicas em algum grau; 5) Seres humanos complementam o processamento da informação cerebral por interação com os sistemas físicos externos organizados. (SOUZA et al., 2012, p.2321, tradução nossa).

A capacidade do cérebro humano de complementar o processamento de informações com o uso de sistemas físicos organizados é uma das suas melhores características, e culmina com a invenção dos computadores. Com o surgimento da Revolução Digital, houve mudanças importantes nas sociedades e culturas de todo o mundo, influenciando o homem em níveis individuais e coletivos pelo impacto das tecnologias digitais sobre o pensamento, surgindo desse contexto uma nova cultura, a hipercultura (SOUZA et al., 2012).

A cognição humana é o resultado de processamento de informações e uma parte importante desse processamento é realizado fora do cérebro. Nesse sentido, utilizamos o processamento externo através da interação com estruturas do ambiente para aumentar a capacidade de processamento de informações feitas pelo cérebro. Por exemplo, quando utilizamos um computador para processar informações, ou mesmo realizar um cálculo mais complexo, estamos utilizando-o como um mecanismo externo de mediação. Para tanto, precisamos construir alguns mecanismos internos que nos possibilite manusear este computador e compreender não somente o seu processamento, mas também as informações que ele está nos oferecendo.

Estes mecanismos internos é que tornam possível a utilização dos mecanismos externos e são chamados pelos autores de “*drivers*”, tecendo uma analogia à computação, própria a uma abordagem baseada na metáfora computador-cérebro da psicologia cognitiva.

### **Os Drivers**

A TMC interpreta *driver* como dispositivos que trabalham como “máquinas virtuais” internas, que possuem um papel importante na definição do pensamento humano no contexto da mediação e vão para além da “conexão” com o mecanismo externo:

É razoável supor que os mecanismos internos de mediação funcionem através da produção de um *shell*, ou seja, de uma “máquina virtual” que “espelha” ou “representa” o mecanismo externo. Trata-se de um processo necessário para o estabelecimento de uma interface entre o cérebro e o mecanismo extra cerebral, mas também permite, até certo ponto, uma “emulação” ao menos parcial dos mecanismos externos em questão. Isso implica, portanto, numa internalização parcial dos mecanismos externos, o que ajuda a explicar por que as habilidades permanecem aumentadas mesmo quando os mecanismos externos estão ausentes. (SOUZA, 2004, p. 81-82)

Isto significa que, para garantir o processo de mediação cognitiva com um mecanismo externo, nosso cérebro cria competências específicas para se comunicar com este mecanismo – que é um auxiliar no processamento de informação – e, a partir dessa mediação, adquire um ganho de processamento de informações que se mantém mesmo que a conexão com o mecanismo externo seja interrompida. E esse ganho de processamento de informações é considerado pelo autor como aquisição de conhecimentos. Souza et al. (2012) resume este processo da seguinte forma:

A fim de integrar o processamento de informação feito pelo cérebro com um executado por mecanismos externos, é necessário que haja uma ligação lógica entre estes dispositivos. Por outras palavras, alguma forma de traduzir entradas, saídas e processamento entre eles. Isto é muito semelhante ao ter

de instalar “controladores de dispositivos” de software num sistema de computador, de modo que este seja capaz de reconhecer e fazer funcionar um equipamento externo específico, tal como uma impressora, um scanner ou outro dispositivo de armazenamento. Nos seres humanos, isto pode ser conseguido por meio de uma representação mental de um sistema físico que é constituído de um conjunto de “teoremas-em-ação”, no sentido estabelecido pela teoria dos campos conceituais de Vergnaud (Vergnaud, 1997), que são análogos ao funcionamento dinâmico do referido mecanismo externo, por conseguinte, tornando possível a um indivíduo interagir com este mecanismo externo para fins de processamento de informação. Como tal, o desenvolvimento deste “mecanismo interno” ocorre por meio da interação entre o indivíduo e o sistema físico correspondente, isto é, através do processo descrito na Epistemologia Genética de Piaget como “equilibração”. (SOUZA et al., 2012, p. 2321-2322, tradução nossa)

O mecanismo externo de processamento de informações – computador – interage com a estrutura cognitiva dos estudantes por mediação em função de que há a internalização de um conjunto de sistemas de signos (VYGOTSKY, 1984) capazes de fazer com que o estudante compreenda e internalize, mesmo que em parte, a informação que está sendo apresentada na tela. Esta contribuição vygotskiana é incorporada na TMC, na medida em que o processo de representação na química resultou em um progresso significativo na forma de apresentar compostos químicos, com repercussões que podem ser lidas dentro de um referencial sócio-histórico-cultural em uma perspectiva evolutiva (RAUPP et al., 2009).

## UM EXEMPLO DE APLICABILIDADE

Para exemplificar a aplicabilidade das teorias, apresentamos os resultados de um estudo exploratório com seis estudantes do primeiro semestre do curso técnico em química do Campus Porto Alegre o Instituto Federal do Rio Grande do Sul, no qual os estudantes manusearam um software de modelagem molecular (Spartan 8.0) para resolver algumas situações-problema envolvendo conteúdos de estereoisomeria *cis/trans*, pois este conteúdo é apresentado no currículo do primeiro semestre do curso e os estudantes, historicamente, possuem dificuldades de compreendê-lo.

A metodologia contou com cinco etapas: pré-teste individual; entrevista individual do pré-teste; simulação de modelagem molecular em dupla; pós-teste individual e entrevista do pós-teste. As questões dos pré-testes e pós-testes foram iguais e as entrevistas foram conduzidas conforme o protocolo *Think Aloud* (VAN-SOMEREN et al., 1994). O registro das entrevistas foi feito por filmagem em vídeo e a análise do conteúdo destas foi realizada por análise gestual (MONAGHAN; CLEMENT, 1999). Esta metodologia de análise gestual já foi utilizada em outros trabalhos e se baseia no fato de que existe um vínculo estabelecido entre gestos descritivos e imagens mentais.

Ao analisar as respostas dos estudantes pelos gestos produzidos, podemos perceber que há um conhecimento implícito (POLANYI, 1958), sob a forma de imagens mentais, inerente à visualização das moléculas quando se utiliza o software. Antes do uso do software de modelagem, podemos observar (entrevista do pré-teste) um maior número de eventos nos quais gestos descritivos são produzidos durante uma etapa de aprendizado de visualização. Estes mesmos gestos parecem ser parcialmente suprimidos após este aprendizado, quando o estudante dá indícios de ter internalizado o conteúdo da simulação, criando “*drivers*” específicos capazes de internalizar as informações que o mecanismo de processamento externo (computador) está apresentando.

Podemos verificar que o estudante “E” realiza, num primeiro momento, uma sequência de gestos iniciais, em que demonstra a rotação da molécula como um todo, que corresponde a um “*driver*” de visualização. Neste gesto, o estudante movimenta a mão como se estivesse segurando uma maçã (aqui representando a molécula como um todo) e gira a mão, imaginando uma rotação 3D de toda a molécula. Aqui, o estudante demonstra que possui “*driver*” de visualização e rotação em 3D.

Por outro lado, nas imagens apresentadas na figura 1, a seguir, o mesmo estudante faz um gesto um pouco diferente: ele junta os dedos de ambas as mãos num mesmo ponto e gira uma mão no sentido horário e outra no sentido anti-horário. Junto com isso, o estudante vai distanciando uma mão da outra, num claro gesto de que, quando a torção da ligação dupla começa a ocorrer, a distância da ligação vai aumentando. Para realizar este gesto, ele necessita desenvolver novos “*drivers*” que são diferentes dos necessários para a visualização e que aparentemente ele não tinha, mas que desenvolveu a partir da interação com o computador (mecanismo de processamento externo). Estes “*drivers*” foram integrados na estrutura cognitiva do estudante por um processo de equilíbrio piagetiana, pois mesmo sem a conexão com o computador, ele os utiliza e isso fica evidenciado na sequência abaixo.

A figura 1, a seguir, mostra, na primeira coluna, uma sequência de gestos realizados pelo estudante “E”. Na coluna central, a respectiva imagem da simulação de modelagem molecular. Por fim, na última coluna, o gráfico de distância da ligação C2-C3 *versus* ângulo de torção da mesma ligação, que é mostrado na tela do software, em tempo real, indicando que quanto mais a molécula é torcionada, maior é a distância da ligação (menor é o caráter da ligação pi), até o rompimento da ligação, no pico superior.

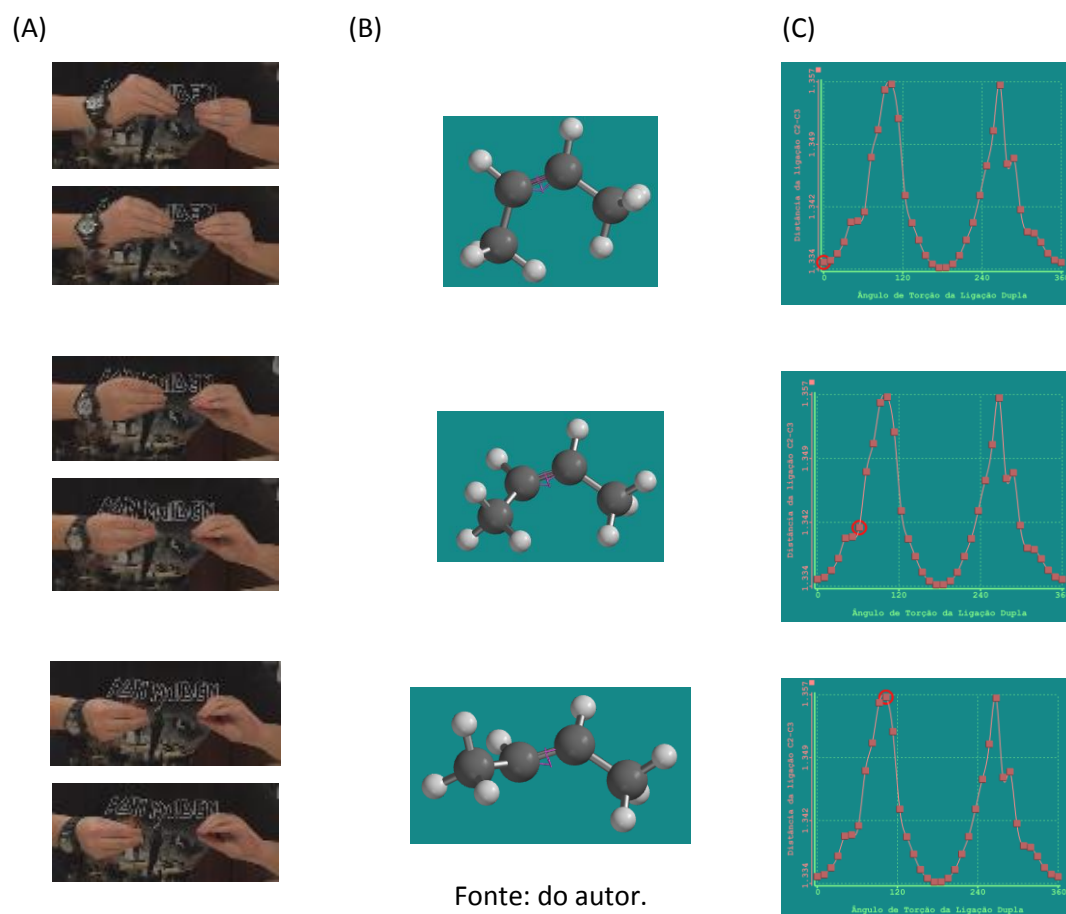


Figura 1: sequência, quadro-a-quadro, mostrando: (A) o estudante realizando um gesto de rotação da ligação dupla C2-C3 no *cis*-2-buteno; (B) a imagem respectiva, quadro-a-quadro, da molécula rotacionando; (C) a respectiva energia envolvida em cada conformação.

Ao analisar as imagens de vídeo, em conjunto com as respostas dos pré-testes e pós-testes, podemos inferir, à luz do marco teórico, que os estudantes que possuíam alguma habilidade visuoespacial, ao interagir com a simulação de modelagem molecular (representada por um mecanismo externo – o computador), desenvolveram novos “*drivers*”. Estes *drivers* se incorporaram na estrutura cognitiva dos estudantes, conferindo-lhes a possibilidade de avançar em termos de pensamento lógico e começar a modelar a molécula estudada, confirmando nossa hipótese inicial, que é sustentada por manifestações de estudantes no pós-teste, como as do estudante “C”:

**Estudante C:** Sim, no caso, agora a única diferença é que agora, da primeira pra essa, foi que eu consegui imaginar uma mesma molécula rotando e chegando a *cis* e *trans*. Essa foi a principal diferença. Eu consegui imaginar a mesma molécula mudando, só que essa mudança também causando diferenças nas características dela também. Essa rotação (mostrando a mão direita girando 180° em torno da mão esquerda, que ficou espalmada e fixa no sentido perpendicular ao eixo de rotação) mudando característica física dela como polaridade e essas coisas assim, devido à mudança da molécula no espaço (mostrando com a mão), dos seus átomos no espaço. Essa seria a principal diferença (sic). (Grifo nosso).

Avaliamos que a mediação com o computador – atuando como um mecanismo de processamento externo – permitiu que o estudante pudesse não somente melhorar alguns “*drivers*” existentes na sua estrutura cognitiva (de visualização, por exemplo), mas também criar novos “*drivers*” (de rotação 3D intramolecular, por exemplo) que são utilizados mesmo quando a conexão com o mecanismo de processamento externo foi desfeita. Note que todo o diálogo acima evidencia uma das premissas da TMC: o estudante, ao interagir com o mecanismo de processamento externo, cria, internamente, mecanismos análogos (imagens mentais) ao funcionamento do mecanismo externo, no caso, o software de modelagem molecular.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ponto de partida da construção de novos conhecimentos ancora-se nos esquemas presentes na estrutura cognitiva dos estudantes. Estes esquemas constituem-se em estruturas complexas, cujos conhecimentos contidos, muitas vezes, são tácitos.

Na medida em que o estudante tem contato com o resultado da simulação computacional de modelagem molecular, parte do seu conteúdo é internalizado e essa nova informação é confrontada com os *drivers*<sup>3</sup> presentes na estrutura cognitiva do estudante. Este processo é análogo ao processo de equilíbrio piagetiano e, a partir dele, novos *drivers* são criados para resolver o problema que lhes é apresentado. É dessa forma que os *drivers* – que funcionam como máquinas virtuais – são, aparentemente, consolidados em *scripts*, assim como novos *drivers* são criados por mediação com o computador.

---

<sup>3</sup> Os autores da TMC comparam os drivers aos invariantes operatórios de Vergnaud, em especial aos teoremas-em-ação. Para eles, são conceitos similares.

A partir do momento em que estes *scripts* são criados, os estudantes liberam memória de trabalho, o que lhes possibilita avançar e começar a pensar em termos de modelagem molecular, adquirindo novas competências como, por exemplo, modelar o comportamento físico-químico da molécula a partir da situação de rotação 3D intramolecular. E este processo ocorre naturalmente, como percebemos nos registros do estudo exploratório. No entanto, podemos inferir sobre uma condição para que este processo ocorra: a existência da habilidade visuoespacial. Além desta condição, alguns fatores podem contribuir para o processo: a existência de uma didática centrada na resolução de problemas e a escolha de situações adequadas que possam desencadear o processo de conflito cognitivo capaz de mobilizar os estudantes ao aprendizado.

## REFERÊNCIAS

- BARAIS, A. W.; VERGNAUD, G. Student's conceptions in physics and mathematics: biases and helps. In: **Caverni, J.P.; Fabre, J.M. and Gonzalez, M. Cognitive Biases**. p.69–84, 1990. NorthHolland: Elsevier Science Publishers.
- LAUDAN, L. **O Progresso e Seus Problemas: rumo a uma teoria do crescimento científico**. Tradução Roberto Leal Ferreira. São Paulo: UNESP, Editora, 2011.
- MONAGHAN, J. M.; CLEMENT, J. J. Use of a computer simulation to develop mental simulations for understanding relative motion concepts. **International Journal of Science Education**, v. 21, n. 9, p. 921 – 944, 1999.
- POLANYI, M. **Personal Knowledge: towards a post-critical Philosophy**. Chicago: The University of Chicago Press, 1958.
- RAUPP, D.; MOREIRA, M. A.; SERRANO, A. A Evolução da História da Linguagem Representacional Química : uma interpretação baseada na teoria dos campos conceituais. p.1–12, 2009. Florianópolis, SC: VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências.
- SOUZA, B. C. DE. **A Teoria da Mediação Cognitiva: Os impactos cognitivos da Hipercultura e da Mediação Digital**, 2004. Universidade Federal de Pernambuco. Centro de Filosofia e Ciências Humanas. Disponível em: <<http://www.liber.ufpe.br/teses/arquivo/20040617095205.pdf>>. .
- SOUZA, B. C.; SILVA, A. S.; SILVA, A. M.; ROAZZI, A.; SILVA, S. L. C. Putting the Cognitive Mediation Networks Theory to the test: Evaluation of a framework for understanding the digital age. **Computers in Human Behavior**, v. 28, n. 6, p. 2320–2330, 2012. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0747563212002026>>. Acesso em: 15/1/2013.
- SWELLER, J. **Cognitive Load Theory: a special issue of educational psychologist**. LEA: Inc, 2003.
- VAN-SOMEREN, M. W.; BARNARD, Y. F.; SANDBERG, J. A. C. **The Think Aloud Method: a practical guide to modeling cognitive processes**. London, 1994.
- VERGNAUD, G. Teoria dos Campos Conceituais. 1º Seminário Internacional de Educação Matemática do Rio de Janeiro. **Anais...** p.1–26, 1993. Rio de Janeiro.
- VERGNAUD, G. A Trama dos Campos Conceituais na Construção dos Conhecimentos. **Revista do GEEMPA, Porto Alegre**, , n. 4, p. 9–19, 1996.
- VYGOTSKY, L. S. **A formação Social da Mente**. São Paulo, SP: Martins Fontes Editora LTDA, 1984.