

## Um modelo de treinamento adaptativo da habilidade metacognitiva de monitoramento do conhecimento

Tiago Roberto Kautzmann, Patricia Jaques

Programa Interdisciplinar de Pós-Graduação em Computação Aplicada (PIPICA)  
Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS) – São Leopoldo – RS - Brasil

tkautzmann@gmail.com, pjaques@unisinors.br

***Abstract.** The student's ability of discriminating known from unknown information in a particular domain of knowledge is essential to successful learning. However, few studies tried to develop a specific training model to improve this ability. This paper presents the design and implementation of an agent which trains the knowledge monitoring ability through personalized instruction. The agent was integrated into an Intelligent Tutor System and an experimental evaluation was performed with 63 students. The evaluation showed some positive evidence regarding the benefits of using the metacognitive agent.*

***Resumo.** Saber identificar o que se sabe e o que não se sabe em um determinado domínio de conhecimento é uma habilidade metacognitiva fundamental para o sucesso da aprendizagem. No entanto, poucos trabalhos se preocuparam em desenvolver um modelo de instrução específico para a melhora desta habilidade. Este artigo apresenta o modelo e a implementação de um agente que treina a habilidade de monitoramento do conhecimento através de uma instrução que se adapta a características do aprendiz e ao seu histórico de resolução de tarefas. O agente foi integrado a um Sistema Tutor Inteligente e uma avaliação experimental foi realizada com 63 alunos. A avaliação apresentou algumas evidências positivas em relação a benefícios do uso do agente metacognitivo.*

### 1. Introdução

Alunos que conseguem identificar o que sabem e o que não sabem sobre determinado domínio de conhecimento são mais propensos a: a) remediarem suas fraquezas de aprendizagem, mobilizando esforços para a aquisição dos conhecimentos deficitários [Fogarty 1994]; b) buscarem ajuda quando necessário [Stavrianopoulos 2007]; c) estudarem estrategicamente [Tobias e Everson 2002]. Esta habilidade tem relação com o sucesso na aprendizagem em todos os cenários acadêmicos [Tobias e Everson 2002]. A área da Psicologia Educacional identifica esta habilidade como **monitoramento do conhecimento** e é um construto relacionado à metacognição, pois exige que o aluno monitore um componente da sua cognição, a memória. Além disso, é uma habilidade fundamental para as demais habilidades metacognitivas [Tobias e Everson 2002].

Processos metacognitivos podem ser melhorados através de treinamento [Desoete, Roeyers e De Clercq 2003]. Porém, para se engajarem em um pensamento metacognitivo, os alunos precisam ser explicitamente encorajados, através de instrução

[Lin 2001]. Autores descrevem a necessidade de estudos relacionados a modelos de treinamento da habilidade do aluno de monitorar o que sabe e o que não sabe [Gama 2004, Stavrianopoulos 2007, Tobias e Everson 2009, Blackwood 2013].

Os trabalhos relacionados incitam o aluno a refletir sobre seu conhecimento, porém, apresentam alguma destas lacunas: não explicitam a importância da habilidade metacognitiva na instrução, não adaptam a instrução ao aluno ou não avaliam a habilidade metacognitiva. O presente artigo descreve um modelo de agente pedagógico para o treinamento da habilidade metacognitiva de monitoramento do conhecimento que adapta a instrução ao nível metacognitivo, ao conhecimento no domínio e ao histórico do aluno. O modelo foi implementado e integrado ao Sistema Tutor Inteligente (STI) PAT2Math (<http://pat2math.unisinos.br>), um *step-based* STI, para fins de avaliação. Os STIs são ambientes de aprendizagem inteligentes que provêm assistência individualizada aos alunos [Woolf 2009]. Nos STIs do tipo *step-based*, a interface do tutor permite que o estudante resolva os problemas passo-a-passo. O tutor está apto a fornecer assistência (por exemplo, informando se o passo está correto e dando dicas) para cada passo [VanLehn 2006].

Este artigo encontra-se organizado como segue. A seção 2 apresenta os principais conceitos relacionados à metacognição e à habilidade de monitoramento do conhecimento. A seção 3 descreve os trabalhos relacionados, salientando aspectos importantes não tratados por estes estudos e que são considerados no presente trabalho. Na seção 4 consta a descrição do modelo metacognitivo proposto. A seção 5 descreve a avaliação experimental realizada e a análise dos resultados obtidos. As conclusões do presente trabalho são apresentadas na seção 6.

## 2. Metacognição e a habilidade de monitoramento do conhecimento

Metacognição é o conhecimento que uma pessoa possui sobre os próprios processos ou produtos cognitivos [Flavell 1976 apud Brown 1977, p. 8]. Segundo Dunlosky e Metcalfe (2009), os processos metacognitivos são divididos em três componentes: a) conhecimento metacognitivo; b) monitoramento dos próprios processos de aprendizagem; c) autorregulação e controle da cognição. O **conhecimento metacognitivo** consiste de conhecimentos ou crenças sobre fatores ou variáveis que afetam os empreendimentos cognitivos [Flavell 1979]. Como exemplos: a crença de uma pessoa que ela aprende melhor escutando do que lendo, ou a consciência de que não domina determinado conhecimento. O componente de **monitoramento dos próprios processos de aprendizagem** diz respeito a uma avaliação que o indivíduo realiza sobre o andamento de sua atividade cognitiva [Dunloski e Metcalfe 2009], avaliando, por exemplo, se os objetivos da aprendizagem estão sendo alcançados. O componente de **autorregulação e controle da cognição** refere-se às atividades que o indivíduo se engaja a fim de adaptar sua aprendizagem.

Em relação à habilidade de monitoramento do conhecimento, a tarefa do aluno de monitorar o que sabe é complexa. O aprendiz precisa recuperar o conhecimento da memória de longo prazo, compará-lo com o material do problema que lhe é apresentado, e julgar se possui conhecimento para resolvê-lo. Além disso, é uma habilidade fundamental para as demais habilidades metacognitivas [Tobias e Everson 2002].

Sobre o treinamento de habilidades metacognitivas, Veenman, Hout-Wolters e Afflerbach (2006) destacam três fundamentos: a) a instrução metacognitiva deve ser embutida na instrução de domínio específico; b) os alunos devem ser informados sobre a utilidade das ações metacognitivas; c) o treinamento deve ser prolongado. Azevedo e Hadwin (2005) também destacam a importância de características de adaptabilidade e individualização do ensino em ambientes computacionais de aprendizagem.

### 2.1. Avaliação da habilidade de monitoramento do conhecimento

Tobias e Everson (2002) criaram um instrumento que mede a habilidade do aluno de monitorar o seu próprio conhecimento, chamado *Knowledge Monitoring Assessment* (KMA). O KMA compara as estimativas do aluno sobre seu conhecimento em uma determinada tarefa com seu desempenho sobre a mesma tarefa.

O instrumento define quatro escores: a) a solução é estimada pelo aluno como conhecida e é resolvida corretamente (+,+); b) a solução é estimada pelo aluno como desconhecida, mas é resolvida corretamente (-,+); c) a solução é estimada pelo aluno como conhecida, mas é resolvida incorretamente (+,-); d) a solução é estimada pelo aluno como desconhecida e é resolvida incorretamente (-,-). Os escores ++ e -- refletem monitoramento de conhecimento preciso, enquanto que os escores +- e -+ refletem imprecisão. A partir destes escores é gerado um índice que mede a discrepância entre o conhecimento estimado e o conhecimento demonstrado [Tobias e Everson 2002]. Tobias e Everson (2002) indicam o uso do coeficiente Hamman (CH) para o cálculo do índice KMA:  $((a+d)-(b+c))/((a+d)+(b+c))$ . O índice possui intervalo de valores entre +1 e -1, sendo que +1 indica monitoramento de conhecimento preciso, enquanto que -1 indica total imprecisão no monitoramento do conhecimento. Pode-se, ainda, classificar o índice KMA como satisfatório ou insatisfatório, definindo-se um valor limiar que os separam. Valores superiores ou iguais ao valor limiar indicam KMA satisfatório.

## 3. Trabalhos relacionados

Esta seção descreve trabalhos relacionados ao presente estudo que incitam o aluno a monitorar o seu conhecimento em ambientes computacionais de aprendizagem.

O modelo RA (*Reflection Assistant Model*) de Gama (2004) propõe uma instrução que treina três habilidades metacognitivas, entre elas, a de monitoramento do conhecimento. O modelo explicita ao aluno a importância da habilidade metacognitiva na sua aprendizagem. Todas as atividades instrucionais ocorrem em sequência fixa, não havendo adaptação da instrução ao conhecimento e nível metacognitivo do aluno.

Os estudos de Alevan e colegas (2006) descrevem o agente *Help Tutor*, que treina o comportamento de *help-seeking*. Esta é uma habilidade em que o indivíduo busca ajuda, apenas quando necessário, junto a um professor, colega, livro, entre outros. Embora não seja a mesma habilidade, o comportamento adequado de *help-seeking* sugere que o aluno possa diferenciar entre o que ele sabe e o que não sabe [Tobias e Everson 2002]. O agente incita o aluno, em dado momento, a refletir sobre seu conhecimento, mas não adapta esta ação ao aluno, não avalia a habilidade de monitoramento do conhecimento e não explicita a importância desta habilidade.

Outros três trabalhos também incitam o aluno a monitorar o seu conhecimento. O estudo de Woolf e colegas (2002) descreve um modelo de instrução que visa melhorar habilidades de investigação dos alunos. Uma das fases do treinamento incita o

aluno a monitorar seu conhecimento. No entanto, esta fase não é adaptada ao aluno e a importância da habilidade metacognitiva não é explicitada. Kramarski e Michalsky (2013) descrevem um método de instrução, chamado IMPROVE, que busca melhorar aspectos metacognitivos. Em dado momento, a instrução incita o aluno a refletir sobre seu conhecimento, porém, esta etapa não é adaptada ao aluno e também não é explicitada a importância da habilidade metacognitiva. O agente MetaTutor [Azevedo et al 2012] possibilita que o aluno faça julgamentos de seu conhecimento e explica ao aluno a importância da habilidade metacognitiva. No entanto, a quantidade de intervenções do agente e o conteúdo desta etapa da instrução não são personalizados.

É possível encontrar outros trabalhos na literatura que buscam treinar outras habilidades, entre as quais, comportamentos relativos à aprendizagem autorregulada, um construto vinculado à metacognição. Os trabalhos relacionados descritos neste artigo foram escolhidos porque incitam o aluno a refletir sobre seu conhecimento. No entanto, eles apresentam alguma(s) das seguintes lacunas: não explicitam a importância da habilidade metacognitiva durante a instrução, não adaptam a instrução ao aluno ou não avaliam a habilidade metacognitiva. Esses aspectos são considerados no trabalho proposto, pois para que o treinamento do monitoramento do conhecimento seja mais efetivo, ele deve: a) ser explícito, explicitando a importância da habilidade metacognitiva [Veenman, Hout-Wolters e Afflerbach 2006] e b) personalizado, como toda forma de instrução [Azevedo e Hadwin 2005].

#### 4. Agente de Treinamento do Monitoramento do Conhecimento

Esta seção descreve o modelo de agente metacognitivo desenvolvido. A hipótese inicial é de que um agente que treina a habilidade de monitoramento do conhecimento de forma explícita (explica a importância desta habilidade na aprendizagem), através de ações de reflexão, e que adapta suas ações a características do aluno, faz o aprendiz refletir mais sobre o seu conhecimento e melhora sua habilidade metacognitiva.

Embora o agente tenha sido integrado ao STI PAT2Math para fins de avaliação, ele pode ser incorporado a qualquer outro STI que: acompanha os passos do aluno na resolução de tarefas (ou seja, é um *step-based* tutor [VanLehn 2006]); possua mecanismos que inferem o conhecimento do aluno e que identificam as unidades de conhecimento possíveis de serem empregadas no próximo passo de tarefa; guarda o histórico de resolução do aluno.

As ações de reflexão também são chamadas no trabalho como *scaffolding*, pois prestam uma assistência que é reduzida à medida que o aprendiz melhora sua habilidade metacognitiva. O *scaffolding* é adaptado de acordo com o conhecimento do aluno no domínio, seu histórico de solução de tarefas e seu nível metacognitivo corrente. O agente emprega três tipos de *scaffolding*: *prompts*, *feedbacks* e *self-explanations*. Os *prompts* ocorrem antes de o aluno tentar resolver um novo passo de tarefa e incitam o aprendiz a refletir sobre o seu conhecimento. Os *feedbacks* são mensagens textuais que notificam o aluno sobre o seu nível corrente da habilidade de monitoramento do conhecimento ou sobre algum comportamento inadequado. Os *self-explanations* incitam o aluno a escrever, com suas palavras, sobre como ele monitorou o seu conhecimento.

#### 4.1. Ciclos do agente metacognitivo

O agente possui dois mecanismos de funcionamento: ciclo interno e ciclo externo. O ciclo interno é responsável pela instrução metacognitiva. O ciclo externo é responsável pela ativação do ciclo interno, sempre antes de o aluno entrar com um novo passo.

##### 4.1.1. Ciclo interno

O ciclo interno é responsável pelo treinamento metacognitivo. Este ciclo entra em funcionamento antes de o aluno tentar entrar com um novo passo de solução de tarefa e após ser ativado pelo ciclo externo. A figura 1 mostra um fluxograma com os procedimentos e tomadas de decisão do ciclo interno. Inicialmente, o mecanismo verifica se o índice KMA corrente do aluno é um valor igual ou superior a um determinado valor limiar que separa o KMA satisfatório de insatisfatório. Caso o índice KMA seja insatisfatório, é selecionado um *prompt* que incita o aluno a refletir sobre seu conhecimento para dar um novo passo de solução na tarefa corrente. Após, o agente aguarda o aluno passar um tempo refletindo sobre seu conhecimento. Caso o aluno seja muito reativo, ou seja, tentou entrar com um novo passo muito rapidamente, sem reflexão, um *feedback* imediato é exibido na interface informando o comportamento inadequado. Seguindo o fluxograma, o aluno deve estimar seu conhecimento. Nesta etapa, o agente exibe uma caixa (figura 3) com a mensagem “Você tem conhecimento para informar um novo passo válido?” e o aluno responde com “SIM” ou “NÃO”. Na sequência, o aprendiz entra com um novo passo de resolução da tarefa. O agente compara a estimativa com o desempenho e atualiza o índice KMA do aluno.

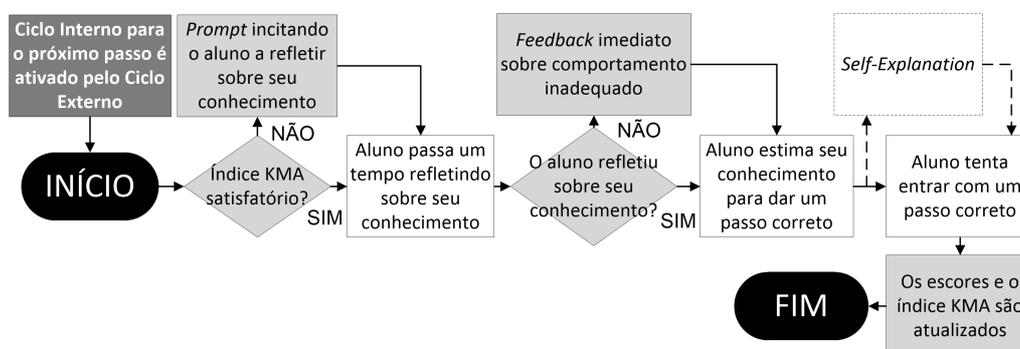


Figura 1. Fluxo de funcionamento do ciclo interno

Logo após a estimativa do aluno, o agente poderá entregar uma atividade de *self-explanation* em que o aprendiz escreve, com suas palavras, os motivos que o levaram a crer que possui ou que não possui conhecimento para dar um novo passo correto na tarefa. O agente também exibe *feedbacks* informando o desempenho do aluno na sua habilidade de monitorar o conhecimento. Um detalhe importante é que quando o ciclo interno é ativado, caso o índice KMA corrente do aluno seja satisfatório, o *prompt* metacognitivo não é selecionado, mas, ainda sim, o aluno é solicitado a estimar seu conhecimento, para fins de atualização do índice KMA.

##### 4.1.2. Ciclo externo

O ciclo externo é responsável por ativar o ciclo interno para o próximo passo da tarefa e é executado sempre antes de o aluno entrar com um passo. Duas estratégias são

utilizadas para a tomada de decisão de ativação do ciclo interno: decisão por nível metacognitivo e decisão por conhecimento do aluno no domínio.

A estratégia de **decisão por nível metacognitivo** é utilizada quando o índice KMA do aluno é insatisfatório ou quando o aluno começou a participar do treinamento recentemente. O mecanismo sorteia um número real pertencente ao intervalo de valores do índice KMA, entre -1 e +1. Caso o valor sorteado, seguindo uma distribuição de probabilidades uniforme, pertença ao intervalo de valores entre o índice KMA corrente do aluno e o valor +1, o ciclo interno é ativado. Quanto mais hábil for o aluno em monitorar o seu conhecimento, ou seja, quanto maior for o valor do seu índice KMA, menor será a probabilidade de a instrução metacognitiva (ciclo interno) ser ativada para o próximo passo, adaptando a quantidade de instrução ao nível metacognitivo do aluno.

A estratégia de **decisão por conhecimento do aluno no domínio** é utilizada quando o aluno mantiver um índice KMA satisfatório nas estimativas de conhecimento recentes. Nesta estratégia, o ciclo interno terá mais chances de ser ativado quando a probabilidade de conhecimento do aluno nas unidades de conhecimento possíveis de serem aplicadas no próximo passo seja próxima de 50%. Os autores deste trabalho acreditam que o aluno necessitaria refletir mais sobre seu conhecimento nas tarefas em que, ao mesmo tempo, não domina, nem desconhece totalmente. Esta crença se deve a evidências observadas em testes-pilotos do agente e através de relatos de professores. Para cada unidade de conhecimento que o aluno poderia utilizar em um novo passo para a tarefa corrente é gerado um índice de relevância, um número real entre 0 e +1, que mede a relevância da unidade de conhecimento para a estratégia de decisão. Índice com valor próximo de +1 indica que a probabilidade de conhecimento do aluno sobre determinada unidade de conhecimento é próxima de 50%. Índice com valor próximo a 0 indica que a probabilidade de conhecimento do aluno sobre determinada unidade de conhecimento é próxima de 0% ou 100%. O índice final utilizado pelo mecanismo de decisão é o valor médio dos índices de relevância em todas as unidades de conhecimento envolvidas no próximo passo. Por final, o mecanismo de decisão gera um número real aleatório, seguindo uma distribuição de probabilidades uniforme, entre 0 e +1. Caso o número sorteado seja um valor menor que o índice final de relevância, o ciclo interno é ativado para o próximo passo da tarefa. Assim, aumentam as chances do agente ativar a instrução metacognitiva naqueles próximos passos em que o aluno necessitaria refletir mais.

#### **4.2. Prompts metacognitivos**

Os *prompts* do agente metacognitivo são selecionados pelo mecanismo de ciclo interno e objetivam incitar o aluno a refletir sobre o seu conhecimento. Os *prompts* foram agrupados em níveis de abstração, em que cada nível possui alvos de reflexão mais específicos. A tabela 1 mostra os níveis de *prompts*, sendo que no nível 1 o alvo de reflexão é mais geral e no nível 4 mais específico. A tabela 1 mostra alguns exemplos de mensagens de *prompts* que incitam a reflexão. Foram utilizadas 65 mensagens distribuídas nos quatro níveis de *prompts*, a fim de evitar que o sistema se tornasse preditivo. As estratégias de reflexão dos níveis de *prompts* foram extraídas de Fogarty (1994), Verschaffel (1999), Polya (1957) e Gama (2004).

O primeiro nível de *prompt* incita o aluno a refletir sobre o seu conhecimento a partir do enunciado da tarefa. O segundo nível direciona o alvo da reflexão a algum

conhecimento que o aluno já demonstrou dominar. O terceiro nível direciona o alvo de reflexão para um passo anterior que o aluno resolveu empregando conhecimento que poderá ser aplicado no passo corrente. O quarto nível exige ao aluno, na interface gráfica, um passo similar que ele resolveu anteriormente. A seleção dos níveis de *prompts* considera o índice KMA do aluno. Quanto menor o valor corrente do índice KMA, mais específico será o nível de *prompt* selecionado. O segundo nível utiliza as probabilidades de conhecimento do aluno inferidas pelo STI, enquanto que o terceiro e quarto níveis utilizam o histórico de resolução de passos. O segundo, terceiro e quarto níveis também necessitam de informações relativas às unidades de conhecimento possíveis de serem aplicadas no passo corrente, igualmente disponibilizadas pelo STI.

**Tabela 1. Níveis de *prompts* metacognitivos**

Nível	Alvo Reflexão	Exemplo de <i>prompt</i>
1	Enunciado da tarefa corrente.	Exibe a mensagem: “Passe um tempo lendo e identificando as partes da tarefa e as operações envolvidas.”.
2	Conhecimento anterior demonstrado.	Exibe a mensagem: “Você já demonstrou ter algum conhecimento necessário para resolver o passo. Passe um tempo refletindo sobre seu conhecimento para resolvê-la.”.
3	Passo similar anteriormente resolvido.	Exibe a mensagem: “Você já resolveu um passo similar em que utilizou conhecimento necessário para resolver o passo atual. Passe um tempo pensando no seu conhecimento.”.
4	Passo similar explícito anteriormente resolvido.	Exibe o passo similar anteriormente resolvido e a mensagem: “Veja este passo similar que você resolveu antes. Você utilizou conhecimento necessário para o passo atual. Passe um tempo refletindo sobre seu conhecimento.”.

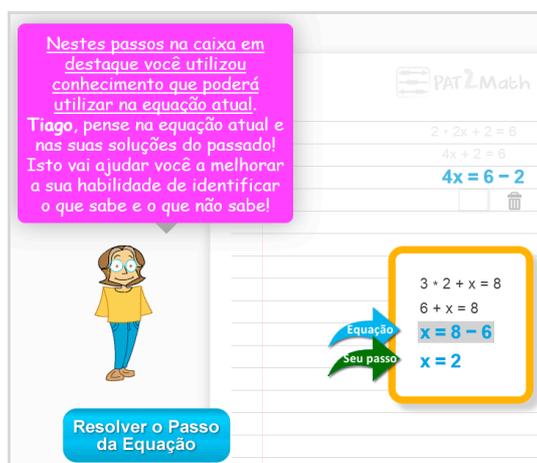
## 5. Avaliação

Os mecanismos descritos na sessão 4 foram implementados e integrados ao PAT2Math, um STI do tipo *step-based*, que atua no domínio de equações algébricas e que assiste os alunos a cada passo de solução do problema apresentado. Para poder fornecer assistência personalizada ao estudante, o PAT2Math possui um sistema especialista (SE) responsável por corrigir a resolução de equações algébricas do estudante [Jaques et al 2013] e identificar o conhecimento possível de ser aplicado no próximo passo, e um Modelo de Aluno que infere a probabilidade de conhecimento do aprendiz nas unidades de conhecimento do domínio [Seffrin e Jaques 2014].

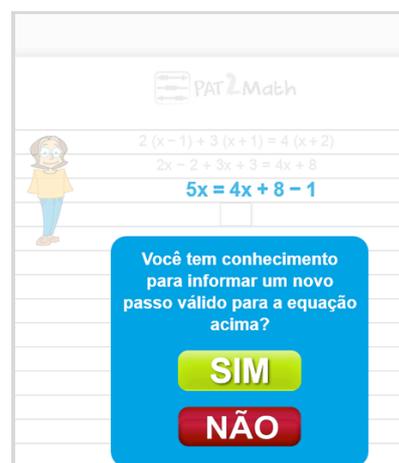
O trabalho foi implementado como um Agente Pedagógico Animado (APA), representado por um personagem *cartoon* 2D, do sexo feminino. Um APA é um agente inteligente com um papel pedagógico, representado por um personagem animado [Jaques e Nunes 2012] que simula a presença de um professor [Lester et al 1997]. A figura 2, por exemplo, mostra o APA metacognitivo integrado ao PAT2Math, exibindo um *prompt* metacognitivo de nível 4.

A avaliação experimental foi realizada com três turmas de 8º Ano e uma turma de 7º Ano do Ensino Fundamental, em quatro escolas particulares da região do Vale dos Sinos, no Rio Grande do Sul. O projeto e o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) foram aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa da

universidade dos pesquisadores envolvidos. De um total de 107 alunos que participou do experimento, para análise dos resultados, foram considerados apenas os dados de 63 alunos, que entregaram o TCLE e participaram das sessões de pré e pós-teste. Os estudantes, com idades entre 12 e 14 anos, foram atribuídos, aleatoriamente, a dois grupos: experimental (com 34 alunos) e controle (29 alunos). Ambos os grupos usaram versões do PAT2Math com o APA. No entanto, no grupo experimental, o APA realizou a instrução metacognitiva e no grupo de controle o APA foi modificado de forma que não entregasse as ações de instrução metacognitiva, fornecendo dicas relacionadas ao domínio. Foram realizadas entre três e quatro sessões de uso do software, além de uma sessão de pré-teste e uma de pós-teste. Cada sessão teve duração de 50 minutos. O intervalo entre as sessões era de uma semana.



**Figura 2. Prompt** exibe um passo similar resolvido anteriormente



**Figura 3. Estimativa do conhecimento**

As sessões de pré e pós-teste coletaram os índices metacognitivos (índice KMA) e os desempenhos dos alunos no domínio. Um teste  $t$  independente comparou a média dos índices metacognitivos do grupo experimental ( $\mu=0,80$  e  $\sigma = 0,25$ ) com a média do grupo de controle ( $\mu=0,60$  e  $\sigma=0,41$ ), ambos no pós-teste. Com  $t(61)=2,21$  e  $p=0,01$ , a média do índice KMA do grupo experimental é, estatisticamente, superior à do grupo de controle, a um nível de significância de 0,05. No entanto, para aceitar a hipótese de que a instrução do agente melhora a habilidade metacognitiva dos alunos, foi considerado mais relevante um teste que comparou os ganhos metacognitivos (diferença dos índices KMA no pós-teste com os mesmos índices no pré-teste) dos grupos. Isso porque este teste considera o nível metacognitivo inicial dos estudantes, no pré-teste, e os ganhos obtidos após as sessões de uso do software, no pós-teste. Foi encontrado um resultado estatístico marginal ao nível de significância (0,05), com  $t(61) = 1,58$  e  $p = 0,059$ . Desta forma, não foi possível aceitar a hipótese de que os ganhos metacognitivos do grupo experimental ( $\mu=0,23$  e  $\sigma=0,37$ ) são superiores aos ganhos do grupo de controle ( $\mu=0,06$  e  $\sigma=0,46$ ). Também foi realizada uma análise de correlação, utilizando o coeficiente de *Pearson*, que encontrou uma forte correlação positiva do índice metacognitivo e o desempenho dos alunos no domínio, no pós-teste do grupo experimental ( $r=+0,92$  e  $p<0,001$ ). No grupo de controle, foi encontrada uma fraca correlação no pós-teste ( $r= +0,29$  e  $p=0,09$ ).

As observações *in loco* também sugerem que os estudantes do grupo experimental, aparentemente engajados na instrução metacognitiva, tiveram uma atitude

menos reativa na resolução de equações. Essa evidência corrobora com a hipótese de que o agente metacognitivo leva os estudantes a refletir mais sobre seu conhecimento.

## 6. Conclusões

Estudos apontam a importância da habilidade do aprendiz de identificar o que sabe e o que não sabe durante a aprendizagem. Os trabalhos relacionados buscaram treinar habilidades metacognitivas em ambientes computacionais de aprendizagem. No entanto, apresentaram, no mínimo, alguma das seguintes lacunas: não explicita a importância da habilidade metacognitiva; não adapta a instrução ao aluno; não avalia a habilidade metacognitiva de monitoramento do conhecimento.

Este artigo apresentou um agente metacognitivo que, integrado a um STI do tipo *step-based*, busca treinar a habilidade de monitoramento do conhecimento através de uma instrução que incita o aluno a refletir sobre seu conhecimento, que explicita a importância da habilidade metacognitiva, e que adapta a instrução ao aluno. Os resultados de uma avaliação com alunos indicaram um provável benefício do agente, embora não sejam conclusivos a um nível de significância cientificamente aceito. Também foram encontradas evidências relativas ao engajamento dos alunos às ações do agente e uma forte correlação do índice metacognitivo e o desempenho no domínio quando os alunos recebem a instrução metacognitiva.

## Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com o apoio do CNPq e da FAPERGS.

## Referências

- Aleven, V., McLaren, B., Koedinger, K. e Rool, I. (2006) Toward Meta-Cognitive Tutoring: A Model of Help-Seeking with a Cognitive Tutor. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, vol. 16, p. 101-130.
- Azevedo, R., Feyzi-Behnagh, R. F., Duffy, M., Harley, J. M. e Trevors, G. (2012) Metacognition and self-regulated learning in student-centered learning environments. In: D. Jonassen e S. Land (Eds.) *Theoretical foundations of student-center learning environments*, New York: Routledge, n. 2, pp. 171–197.
- Azevedo, R. e Hadwin, A. F. (2005) Scaffolding Self-regulated Learning and Metacognition. *Instructional Science*, v. 33, n. 5-6, p. 367-379.
- Blackwood, T. (2013) Business undergraduates' knowledge monitoring accuracy: how much do they know about how much they know? *Teaching in HE, NY*, v.18, p. 65-77.
- Brown, A. L. (1977) *Knowing When, Where, and How to Remember: A Problem of Metacognition*. Technical Report n. 47, Washington.
- Desoete, A., Roeyers, H. e De Clercq, A. (2003) Can Offline Metacognition Enhance Mathematical Problem Solving? *Journal of E.P.*, Washington, v.95, n. 1, p. 188-200.
- Dunlosky, J. e Metcalfe, J. (2009) *Metacognition*. SAGE, Los Angeles.
- Flavell, J. (1979) Metacognition and cognitive monitoring: A new area of cognitive-developmental inquiry. *American Psychologist*, v. 34, n. 10, p. 906–911.
- Fogarty, R. (1994) *How to Teach for Metacognitive Reflection*. Pearson, Glenview.

- Gama, C. A. (2004) Integrating Metacognition Instruction in Interactive Learning Environments. Thesis (PhD), University of Sussex, Brighton.
- Jaques, P. A., Seffrin, H., Rubi, G., Morais, F. de, Ghilardi, C., Bittencourt, I. I. e Isotani, S. (2013) Rule-based expert systems to support step-by-step guidance in algebraic problem solving: the case of the tutor PAT2math. *Expert Systems with Applications*, v. 40, n. 14, p. 5456–5465.
- Jaques, P. A. e Nunes, M. A. S. N. (2012) Ambientes Inteligentes de Aprendizagem que inferem, expressam e possuem emoções e personalidade. In: Isotani, S.; Campos, F. JAIE. Congresso Brasileiro de Informática na Educação. RJ: UFRJ, p. 31-82.
- Kramarski, B. e Michalsky, T. (2013) Student and Teacher Perspectives on IMPROVE Self-Regulation Prompts in Web-Based Learning. In: R. Azevedo e V. Aleven (Eds.) *International Handbook of Metacognition and Learning*, Springer, NY.
- Lester, J. C., Converse, S. A., Kahler, S. E., Barlow, S. T., Stone, B. A. e Bhogal, R. S. (1997) The persona effect: Affective impact of animated pedagogical agents. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, Atlanta.
- Lin, X. (2001) Designing Metacognitive Activities. *Educational Technology Research and Development*, v. 49, n. 2, p. 23-40.
- Polya, G. (1957) *How to Solve It*. Princeton University Press, Garden City, NY.
- Seffrin, H. e Jaques, P. (2014) Modelando o conhecimento algébrico do estudante através de Redes Bayesianas Dinâmicas. In: SBIE, Dourados, MT, SBC.
- Stavrianopoulous, K. (2007) Adolescent's Metacognitive Knowledge Monitoring and Academic Help Seeking. *College Student Journal*, v. 41, n. 2, p. 444-453.
- Tobias, S. e Everson, H. (2002) Knowing What You Know and What You Don't: Further Research on Metacognitive Knowledge Monitoring. Research Report, The College Board, New York, n. 2002-3, p. 1-25.
- Tobias, S. e Everson, H. (2009) The Importance of Knowing What You Know: A Knowledge Monitoring Framework for Studying Metacognition. In: D. J. Hacker, J. Dunlosky e A. C. Graesser (Eds.) *Handbook of Metacognition in Education*, NY.
- VanLehn, K. (2006) The Behavior of Tutoring Systems. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, v. 16, n. 3, p. 227–265.
- Veenman, M. V. J., Hout-Wolters, B. H. A. M. Van e Afflerbach, P. (2006) Metacognition and learning: conceptual and methodological considerations. *Metacognition Learning*, v.1, n. 1, p. 3-14.
- Verschaffel, L. (1999) Realistic mathematical modelling and problem solving in the upper elementary school: analysis and improvement. In: J. H. M. Hamers, J. E. H. Luit, B. Csapó (Eds.) *Teaching and learning thinking skills*, Lisse, The Netherlands.
- Wolf, B. P. (2009) Building intelligent interactive tutors: Student-centered strategies for revolutionizing e-learning. Morgan Kaufmann, San Francisco, CA.
- Wolf, B. P., Reid, J., Stillings, N., Bruno, M., Murray, D., Reese, P., Peterfreund, A. e Rath, K. (2002) A General Platform for Inquiry Learning. In: *International Conference of Intelligent Tutoring Systems*, Springer Berlin Heidelberg, NY.