

Amnesia: um Recurso Educacional Aberto para o Ensino de Memória Virtual

Carlos Emílio de Andrade Cacho, Paulo Sergio Lopes de Souza, Sarita Mazzini Bruschi,
Ellen Francine Barbosa e Fernando Tiosso
Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação – ICMC/USP
Laboratório de Sistemas Distribuídos e Programação Concorrente (LaSDPC)
Caixa Postal 668 – 13.560-970 – São Carlos – SP – Brasil
carlosec@usp.br, {pssouza, sarita, francine, ftiosso}@icmc.usp.br

Abstract

Ensinar o conteúdo de memória virtual de forma clara não é uma tarefa simples, devido à complexidade de alguns conceitos. Este artigo apresenta o módulo Memória Virtual do Recurso Educacional Aberto (REA) Amnesia. Este REA representa uma alternativa para facilitar o aprendizado de memória virtual, simulando estruturas, funcionalidades e aspectos de desempenho. O Amnesia está sob uma licença de software livre que possibilita seu uso em diferentes contextos de ensino, além de permitir modificações em seu código fonte e redistribuição de diferentes versões. Os experimentos realizados com o Amnesia junto com alunos da área de computação, mostram uma considerável evolução na aprendizagem do assunto memória virtual.

1 Introdução

Melhorar a qualidade no ensino da computação é um desafio. Dificuldades como a falta de conhecimento prévio ao ingresso à universidade e a pouca atualização dos métodos didáticos frente às novas tecnologias, comprometem a qualidade da aprendizagem [9]. Observa-se que o ritmo de absorção do conhecimento pelos alunos, em aulas essencialmente teóricas, não acompanha o ritmo em que a matéria é conduzida. Como consequência, pode-se gerar o desinteresse por um conteúdo ministrado ou até mesmo a aversão à disciplina [11]. Tornar o ensino mais atrativo a conteúdos que necessitem de dinamismo na apresentação e interação com o aluno gera desafios que podem ser abordados com ferramentas de ensino [5]. Duas alternativas investigadas atualmente nesse contexto são os Objetos de Aprendizagem (AOs) [7] e os Recursos Educacionais Abertos (REAs) [14].

Os OA representam um artefato de ensino que pode ser reutilizável posteriormente. O *Learning Objects Metadata Workgroup* define OAs como uma “entidade” desenvolvida

com as tecnologias disponíveis, digital ou não, capaz de ser usada, reusada ou referenciada durante a aprendizagem [7].

REAs representam uma evolução dos OAs e são vistos como materiais de ensino, aprendizado e pesquisa em qualquer mídia, os quais estão sob domínio público ou licenciados de maneira aberta, permitindo o uso e adaptação por terceiros. REAs podem incluir cursos completos, partes de cursos, módulos, livros didáticos, artigos de pesquisa, vídeos, *software*, entre outros materiais que possam ser utilizados no ensino [14].

Mesmo com a abordagem de REAs, a disponibilidade de conteúdos para alguns domínios ainda é escassa, como é o caso do ensino do tópico memória virtual, no contexto da disciplina Sistemas Operacionais. Neste cenário, em especial, a falta de recursos didáticos torna difícil a apresentação do conteúdo de forma clara, devido à dinâmica e complexidade de alguns conceitos, pois envolve operações sobre tabelas de páginas, tradução de endereços de páginas virtuais para reais, entre outras operações complexas [12].

O Projeto Amnesia insere-se nesse contexto, visando auxiliar o ensino dos diversos níveis da hierarquia de memória presente nos computadores, os quais são normalmente apresentados em duas disciplinas dos cursos de computação: Organização de Computadores e Sistemas Operacionais. Na base deste projeto há um simulador (de mesmo nome), o qual representa estruturas, funcionalidades e permite a análise do desempenho da hierarquia de memória na arquitetura de von Neumann. O simulador Amnesia¹, em desenvolvimento, é organizado em três módulos: CPU, cache e memória virtual. Desde 2013 os conceitos de REA vêm sendo incorporados ao Projeto Amnesia, a fim de tornar o seu simulador um REA.

Este artigo apresenta o módulo que simula a memória virtual paginada existente no Amnesia, o qual considera registradores internos ao processador, memórias caches,

¹Disponível em <http://amnesia.lasdpc.icmc.usp.br/> sob licença GPL.

memória principal, disco e a abstração de memória virtual paginada [10]. O texto apresenta uma descrição das principais características, funcionalidades e os resultados obtidos com o uso do módulo em sala de aula. Os resultados apresentados foram obtidos por meio de experimentos realizados com alunos de pós-graduação em computação.

As demais seções deste artigo estão estruturadas como segue: a Seção 2 apresenta os trabalhos relacionados a este artigo, comparando os mesmos com o Amnesia. A Seção 3 apresenta aspectos estruturais do Amnesia e descreve seu funcionamento por meio da sua interface. A Seção 4 detalha o método de avaliação quantitativa e qualitativa realizados com o REA. Por fim, as conclusões e os trabalhos futuros são discutidos na Seção 5.

2 Trabalhos Relacionados

Os principais simuladores de hierarquia de memória e memória virtual encontrados foram: Web-MHE [1], *Hierarchical Memory System Environment* (HMSE) [3], *Memory System for Education* (MSE) [2] e SOsim [8].

O Simulador Web-MHE é um ambiente web *opensource* para auxiliar o aprendizado de hierarquia de memória. Ele possui material didático com textos explicativos e simulações automáticas (*script*). Com o Web-MHE é possível simular o comportamento de estruturas como cache unificada/separada, caches multiníveis, memória principal e memória virtual [1]. Quando comparado, o Web-MHE é o simulador que mais se aproxima do Amnesia, embora não apresente algumas características importantes como um módulo CPU para gerar os acessos à hierarquia de memória e a simulação conjunta dos diferentes módulos.

O *Hierarchical Memory System Environment* (HMSE) é um simulador de hierarquia de memória e memória virtual. O HMS possui três módulos: memória virtual com TLB (*Translation Lookaside Buffer*), memória cache e memória principal, sendo que cada módulo é apresentado de maneira isolada. As simulações são realizadas no nível de componentes lógicos e em uma versão *desktop* [3].

O *Memory System for Education* (MSE) é um simulador de memória voltado ao ensino, mas não possui material didático associado. As simulações dos seus módulos são realizadas isoladamente e o simulador possui duas versões: web e *desktop*, escrita em *Visual Basic* [2].

SOsim é um simulador de apoio à aprendizagem de Sistemas Operacionais. Ele possui interface gráfica interativa, material didático associado e está disponível para *download*. Possui ainda um módulo de memória virtual, mas o foco da simulação está na gerência de processos, apresentando processos nas filas de pronto, execução e espera [8].

O REA descrito neste artigo difere-se dos demais pois é o único com um módulo CPU e simulação em conjunto dos módulos, indicando para o usuário como é a interação da

CPU com as memórias no decorrer da simulação. O Web-MHE e o MSE foram desenvolvidos para a *WEB* facilitando as suas utilizações. Embora o Amnesia seja *desktop*, ele foi desenvolvido em Java e está disponibilizado na Internet para *download*. Java oferece portabilidade entre diferentes plataformas de *hardware* e *software* básico.

3 O Recurso Educacional Aberto Amnesia

O Amnesia é um simulador de hierarquia de memória e memória virtual na arquitetura de von Neumann. Ele demonstra o funcionamento dos registradores de uma CPU, memórias caches, principal e virtual de forma didática, visando melhorar a aprendizagem em cursos que abordam tal conteúdo [13]. O intuito do desenvolvimento do Amnesia não é substituir o professor, mas atuar no auxílio do mesmo, para tornar mais efetiva a participação dos alunos.

O Amnesia é escrito em Java com o modelo de *software Model View Controller* (MVC) e possui três módulos. O Módulo CPU representa uma CPU MIPS *multiciclo* de 32bits, com sua UC, ULA e banco de registradores. O módulo CPU simula o primeiro nível da hierarquia de memória: registradores. O módulo CPU pode ser substituído por um arquivo de rastro, contendo acessos à memória descritos no padrão DIN [6]. O Módulo Cache² simula memórias caches definidas pelo usuário. As caches podem ser *Unified* ou *Splitted*. Elas podem ser configuradas pelo mapeamento (direto, associativo por conjunto e totalmente associativo), tamanho de bloco, políticas de substituição e escrita, entre outros. O Módulo Memória Virtual simula uma memória virtual paginada. Este módulo permite configurar o tamanho de páginas, políticas de substituição de páginas e adicionar uma TLB ou não.

Os três módulos podem ser executados em conjunto, permitindo a simulação da hierarquia de memória desde registradores até disco, considerando-se paginação em memória virtual. O trabalho descrito em [13] refere-se ao módulo memória cache do Amnesia. Neste artigo, diferentemente, tem-se como foco o módulo memória virtual do Amnesia.

Há duas formas de realizar uma simulação no Amnesia. A primeira executa um código *assembly* convertido em código binário que será interpretado pelo módulo CPU. A segunda forma permite a simulação através de um arquivo de rastro no padrão DIN [6]. Em ambos a simulação pode ser executada passo a passo ou até o fim, de uma só vez. No final da simulação são geradas estatísticas e, caso os acessos partam do módulo CPU, um arquivo de rastro é gerado.

As organizações (ou arquiteturas) de memória são definidas em arquivos *XML*. Estes arquivos especificam quais memórias estão presentes, descrevendo: tamanho de palavras, tamanho da memória *RAM*, tamanho de página, ta-

²O módulo cache está disponibilizado neste repositório <https://www.merlot.org/merlot/vmatqr.htm?id=929863>

manho do disco, além de informar o tempo de leitura e escrita de cada memória. Um mesmo código binário ou arquivo de rastro pode ser executado em diferentes arquiteturas com configurações distintas de processador, memória cache, principal e virtual [13]. Esta característica é importante para executar uma mesma sequência de instruções em diferentes arquiteturas para comparar os desempenhos.

A Figura 1 apresenta a interface gráfica do módulo Memória Virtual do Amnesia, onde são mostradas informações sobre o conteúdo da memória RAM, tabela de páginas, disco e TLB (área A), arquivo de rastro e estatísticas de acesso (área C). A Figura 1 ainda destaca um passo de execução do arquivo de rastro (janela no canto inferior esquerdo da tela - área B). Para essa execução foi carregada uma arquitetura contendo uma memória virtual paginada com TLB e um arquivo rastro com acessos de leitura e escrita. A execução passo a passo de uma simulação exibe um *log* e apresenta traduções de endereço, acesso à memória principal, espalhamento de bits para acesso à TLB, entre outras informações. Ao fim da execução, um *log* dos acessos pode ser salvo para uso futuro.

O uso do módulo Memória Virtual é guiado por planos de aulas e tutoriais de utilização, com os respectivos conceitos teóricos e práticos necessários aos professores na condução das aulas com o REA.

De forma geral, o simulador Amnesia é um REA e está disponível para ser obtido gratuitamente e utilizado por outras instituições, alunos e professores. O código é aberto, sob a licença de software GPL³ (*General Public License*).

4 Aplicação do Amnesia: experimentos com o módulo Memória Virtual

Foram realizados dois experimentos com o módulo Memória Virtual do Amnesia, os quais verificaram o seu emprego durante o uso real em sala de aula. Durante o experimento foram analisados os seguintes aspectos: robustez do software desenvolvido, facilidade de utilização do REA pelos alunos, compreensão dos assuntos ministrados, sequência de atividades previstas nos planos de aulas, adequação de cada atividade considerando o objetivo proposto para as aulas, satisfação dos alunos em utilizar o REA e, por fim, sugestões dos alunos para melhorar o Amnesia.

No primeiro experimento foram ministradas duas aulas com o módulo Memória Virtual e o público alvo eram alunos de uma turma de pós-graduação em computação, os quais já haviam tido aulas sobre memória virtual em disciplinas de Sistemas Operacionais há algum tempo, tanto na graduação quanto na pós-graduação. No entanto, os alunos que participaram do experimento não tinham contato com os conceitos ministrados há um ano e meio, no mínimo.

³GPL é uma licença *copyleft* livre para *softwares* e outros trabalhos.[4]

Nesse experimento, portanto, o módulo Memória Virtual do Amnesia teve o objetivo de reforçar conceitos já estudados pelos alunos. O objetivo principal da primeira aula foi transmitir aos alunos (ou reforçar nos mesmos) conceitos sobre o uso da memória virtual, divisão da memória em páginas e tabela de páginas. Os objetivos da segunda aula foram ensinar os algoritmos de substituição de páginas e TLB.

O segundo experimento contou com a participação de onze alunos da pós-graduação do ICMC/USP que cursavam a disciplina de Sistemas Operacionais e também tiveram contato com o assunto memória virtual em uma aula teórica. Nesse experimento, portanto, o Amnesia teve o objetivo sedimentar o conhecimento adquirido na aula teórica.

Os dois experimentos possuem duas formas de avaliação: uma quantitativa e outra qualitativa. A avaliação quantitativa foi a aplicação de dois testes com níveis semelhantes de dificuldade. Esses testes foram denominados pré-teste e pós-teste, sendo que entre a aplicação deles houve uma aula com o auxílio do módulo Memória Virtual do Amnesia. A avaliação qualitativa, baseou-se em dois questionários⁴. O primeiro, de expectativa de uso, foi aplicado antes da utilização do Amnesia. O segundo foi aplicado logo após o término da última aula e tratava da reação ao uso. A identificação foi opcional nos testes e questionários.

No primeiro experimento foram ministradas duas aulas expositivas com o auxílio do módulo Memória Virtual do Amnesia e contaram com a utilização de seus respectivos planos de aula. Ao todo foram feitas 11 atividades dentro do tema memória virtual, com os seguintes assuntos: motivação, aspectos estruturais e funcionais, impacto no desempenho, algoritmos de substituição de páginas e TLB. O segundo experimento teve uma aula expositiva com o auxílio do Amnesia e contou com o uso de um plano de aula com seis atividades desenvolvidas dentro do conteúdo de memória virtual. Os assuntos abordados foram políticas de substituição de páginas e TLB. Os alunos usaram individualmente o Amnesia em seus computadores e trabalharam os assuntos de forma gradual.

No primeiro experimento o pré-teste e o pós-teste foram compostos de quinze questões cada, separadas por assuntos: duas questões de motivação, duas de aspectos estruturais, três de aspectos funcionais, duas de aspectos desempenho, três de políticas de substituição e duas sobre TLB. Cada assunto teve, no mínimo, uma questão com dificuldade alta ou média e uma fácil. No segundo experimento o pré-teste e o pós-teste foram compostos de dez questões cada, com cinco de políticas de substituição e cinco de TLB.

4.1 Avaliação quantitativa

No primeiro experimento o pré-teste foi aplicado para verificar o conhecimento prévio dos alunos sobre os assun-

⁴Disponíveis em <http://amnesia.lasdpc.icmc.usp.br/>.

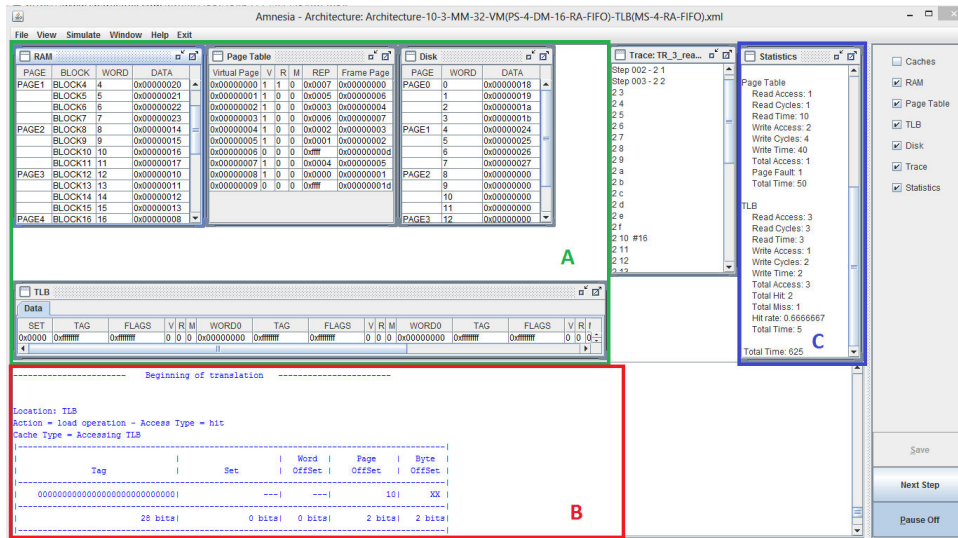


Figura 1. Interface do Amnesia, realizando um passo de execução.

tos que seriam abordados em sala de aula. Em seguida, deu-se início à primeira aula com o Amnesia com duração 50 minutos, sendo 15 minutos para apresentar o Amnesia e 35 minutos para abordar conceitos iniciais já descritos anteriormente. No dia seguinte foi realizada uma segunda aula com duração 50 minutos para, apresentar os assuntos de políticas de substituição e TLB. O pós-teste foi realizado em um terceiro dia. Os resultados do pré-teste e pós teste são apresentados na Figura 2.

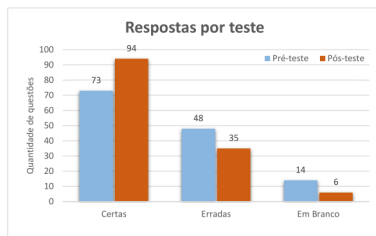


Figura 2. Gráfico de respostas por teste no primeiro experimento.

A Figura 2 mostra que houve uma melhora nos acertos em questões do pós-teste, com um crescimento de 28,8% e, como consequência, uma diminuição 27,1% de repostas erradas. Tais resultados podem ser um indicativo que o Amnesia ajudou os alunos a consolidar o aprendizado do conteúdo de memória virtual. Nota-se também uma diminuição de 57,1% na quantidade de respostas deixadas em branco no pós-teste. Foi recomendado aos alunos que deixassem em branco as questões que não soubessem a resposta. Embora esse resultado tenha sido obtido após uma aula com o Amnesia, não se pode afirmar que essa redução aconteceu em

função do Amnesia ou de ter havido uma aula tão somente.

Na Figura 3 nota-se uma melhora nos resultados sobre motivação, estrutura, funcionalidade, desempenho e políticas de substituição. Dentre estes assuntos, destacam-se as questões de estruturas de memória virtual (2 questões por teste) e políticas de substituição (3 questões por teste), com uma melhora de 47,1% e 40,9%, respectivamente.

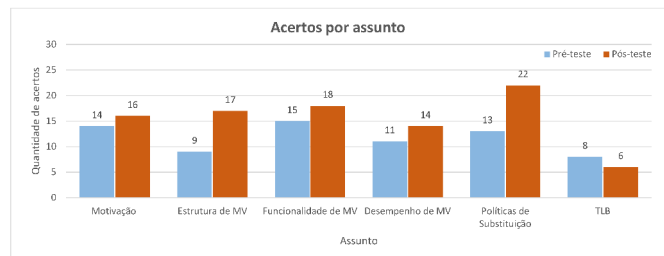


Figura 3. Gráficos de acertos por assunto no primeiro experimento.

Ainda na Figura 3, observa-se uma queda na quantidade de acertos referentes ao uso da TLB. Alguns fatores que podem explicar o ocorrido são o nível de dificuldade do pós-teste, dificuldade de entendimento do pós-teste, dificuldades pontuais ou falta de uma ênfase maior com o uso do REA nesse assunto. No entanto, o primeiro experimento não permitiu apontar com exatidão o principal causador desta queda. Tal aspecto será melhor investigado através dos trabalhos futuros.

No segundo experimento foi realizada uma aula de 90 minutos com o Amnesia, sendo 15 minutos para apresentar o Amnesia e 75 minutos para abordar os assuntos de

políticas de substituição e TLB. Os assuntos possuem um conteúdo extenso e que podem ser bem explorados com o auxílio do Amnesia. Houve neste experimento um foco maior na TLB em virtude da queda de desempenho apresentada no primeiro experimento.

Foi possível realizar uma análise de dois cenários, pois 7 alunos participaram da aula com o Amnesia e 4 alunos não participaram. No cenário 1 houve 7 alunos que utilizaram o Amnesia e no cenário 2, 4 alunos não o utilizaram. A Figura 4 mostra a quantidade de questões certas, erradas e deixadas em branco. Neste experimento também foi recomendado aos alunos que deixassem respostas em branco caso não tivessem certeza.

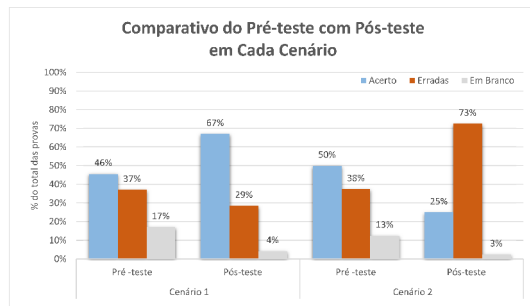


Figura 4. Gráficos de respostas do segundo experimento

Observa-se na Figura 4 que a quantidade de acertos no pré-teste dos alunos do cenário 1 foi de 46%, no pós-teste houve uma melhora de 45,6% na quantidade de questões certas (de 46% para 67%), e conseqüentemente, uma queda de 21,6% das quantidade de questões erradas do pré-teste (37%) para o pós-teste (29%). Além disso, ocorreu uma maior confiança dos alunos em responder as questões, pois somente 4% das questões do pós-teste foram deixadas em branco, contra 17% no pré-teste.

O cenário 2 apresentou um quadro inverso, onde a quantidade de questões certas no pré-teste foi de 50% e no pós-teste apenas 25%. A quantidade de questões erradas foi significativamente maior no pós-teste (de 38% para 73%). Neste caso em particular, seria necessária a aplicação de outra aula, com o Amnesia, para auxiliar no aprendizado.

No pré-teste do Cenário 2 a concentração das notas ficou entre 4 e 6 com mediana 6, ou seja, as notas dos alunos do cenário 2 estavam melhores que as notas dos alunos do cenário 1 no pré-teste. No pós-teste, a nota do cenário 2 ficou muito baixa, entre 1 e 3, com mediana 2 e somente com 1 aluno acima da média (nota 6). Tal resultado mostra que os alunos que não tiveram uma intervenção no aprendizado (aula sobre o conteúdo memória virtual), reduziram seu desempenho.

Na Figura 5 é apresentada uma comparação dos resulta-

dos de acertos por assuntos. No cenário 1 podemos observar que houve uma melhora nos resultados nas questões relacionadas aos assuntos abordados (políticas de substituição e TLB), essa melhora é mais evidente nos resultados do assunto de TLB, onde houve uma melhora de 100% na quantidade de questões certas do pré-teste para o pós-teste.

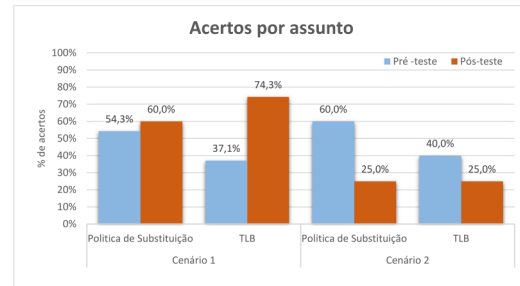


Figura 5. Gráficos de respostas do segundo experimento

A melhora significativa nos resultados sobre TLB deve-se ao foco da apresentação desse assunto no segundo experimento. Como os alunos do primeiro experimento tiveram um resultado desfavorável em TLB (Figura 3), o segundo experimento mostrou que um reforço no assunto com o auxílio REA pode apresentar resultados positivos.

Ainda na Figura 5, no cenário 2, houve uma queda nos resultados dos assuntos de políticas de substituição e TLB do pré-teste para o pós-teste, de forma mais acentuada no caso do assunto políticas de substituição, com uma queda de 58% do pré-teste para pós-teste. A queda nos resultados do assunto TLB foi de 37,5% do pré-teste para o pós-teste.

4.2 Avaliação qualitativa

O resultado da expectativa de uso no primeiro experimento mostra que 44,4% dos alunos estavam motivados em utilizar o Amnesia e 33,3% estavam confiantes. Além disso, 88,9% acreditavam que seu conhecimento iria aumentar; porém, só 44,4% acreditavam no aumento do interesse pelo assunto. No questionário de reação ao uso dos alunos do primeiro experimento, 55,6% dos alunos relataram que seu conhecimento era maior que antes de utilizar o REA e 33,3% disseram que saíram sabendo algo mais, i.e., 88,9% dos alunos notaram que houve um reforço de seu conhecimento. Além disso, 77,8% afirmaram que a motivação em utilizar o Amnesia aumentou depois do teste e que despertou interesse sobre o conteúdo. Isso mostra que a motivação em utilizar o REA se manteve e ajudou no conhecimento dos alunos, refletindo, conseqüentemente, na melhora dos resultados do pós-teste. Na opinião dos alunos, o Amnesia mostrou-se relevante, com conteúdo ade-

quado à memória virtual e de fácil compreensão, de modo que 77,8% o utilizariam novamente.

No segundo experimento, os resultados da expectativa de uso mostram que 43% dos alunos estavam confiantes em utilizar o Amnesia e 33,3% estavam motivados. Além disso, 71% acreditavam que seu conhecimento iria aumentar com a utilização do Amnesia, porém, só 57% acreditavam no aumento do interesse pelo assunto. Nesse experimento verificamos que 86% declararam conhecer parcialmente o assunto, i.e., poderiam evoluir o conhecimento. No questionário de reação ao uso dos alunos do segundo experimento, 71% dos alunos relataram que saíram sabendo um pouco a mais do conteúdo, e 29% disseram que seu conhecimento (sabendo muito mais do que antes) aumentou com a utilização do Amnesia, ou seja, 100% dos alunos notaram que houve um reforço em seu conhecimento. Além disso, 57% dos alunos afirmaram que a aula se tornou mais interessante e 57% se sentiam seguros quanto aos resultados obtidos com o Amnesia.

5 Conclusões

Este artigo apresentou o módulo Memória Virtual do Amnesia, o qual auxilia o ensino deste assunto em cursos de computação. O módulo Memória Virtual simula aspectos estruturais, funcionais e de desempenho.

Com a avaliação quantitativa realizada, observa-se um reforço no conhecimento dos alunos em relação aos conceitos de memória virtual. No primeiro experimento o Amnesia ajudou os alunos a relembrem o conteúdo, o qual foi visto previamente. A avaliação qualitativa reforça o argumento que REA ajudou os alunos, pois 88,9% dos alunos afirmaram uma evidente melhora em seu conhecimento de memória virtual após a aula com auxílio do Amnesia.

No segundo experimento o Amnesia ajudou a sedimentar o conteúdo de memória virtual já abordado em sala. Na outra abordagem desse experimento mostrou-se que um reforço no foco do assunto pode trazer melhorias no desempenho dos alunos. A avaliação dos cenários formados mostra que os alunos que utilizaram o REA foram 42% melhores que alunos que não utilizaram o REA no pós-teste.

O professor ainda é essencial para a aula com o Amnesia. Professores devem planejá-las com cuidado considerando o uso do REA e também acompanhar os planos de aula e as atividades que guiam os alunos durante as atividades didáticas. Isso não impede que o Amnesia seja usado em atividades extraclasse pelo aluno, desde que orientadas adequadamente. De uma forma geral, os resultados evidenciam que o módulo Memória Virtual apresentou robustez, não houve dificuldades para seu uso e os assuntos ministrados foram bem compreendidos.

Como trabalhos futuros, devem ser conduzidos novos experimentos com os alunos para verificar a eficiência do

REA no auxílio ao aprendizado. Também estão previstas extensões ao Amnesia relacionadas às arquiteturas paralelas de computadores, considerando, itens como compartilhamento de memória e coerência de cache.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPESP (2013/07375-0 e 2016/18584-7), CAPES, CNPq e USP pelo suporte financeiro.

Referências

- [1] L. M. N. Coutinho, J. L. D. Mendes, and C. A. P. d. S. Martins. Avaliação quantitativa do uso de um ambiente open-source de auxílio ao aprendizado de hierarquia de memória. *Workshop sobre educação em computação*, pages 27–36, 2007.
- [2] J. Djordjevic. A Memory System for Education. *The Computer Journal*, 48(6):630–641, June 2005.
- [3] J. Djordjevic, A. Milenkovic, and S. Prodanovic. A hierarchical memory system environment. In *Proc. of the 1998 Workshop on Computer Architecture Education, WCAE '98*, New York, 1998. ACM.
- [4] F. S. Foundation. GNU General Public License, 2014.
- [5] M. H. Hamawaki and C. D. M. Pelegrini. As ferramentas do ensino a distancia e suas contribuições para a eficácia no processo de aprendizagem do aluno. *CEPPG*, 2009.
- [6] M. D. Hill and A. J. Smith. Evaluating Associativity in CPU Caches. *IEEE Trans. Comput.*, 38(12):1612–1630, 1989.
- [7] LOM WG12. IEEE Standard for Learning Object Metadata, 2009.
- [8] L. P. Maia, F. B. Machado, and A. C. Pacheco. A constructivist framework for operating systems education. *ACM SIGCSE Bulletin*, 37(3):218, 2005.
- [9] A. L. Marquesi and I. F. Silveira. Mapas Conceituais Aplicados à Seleção e Organização de Objetos de Aprendizagem para Disciplinas de Pré-Cálculo em Cursos de Computação e Informática. *Workshop sobre Educação em computação*, pages 137–146, 2008.
- [10] B. H. Oliveira, J. H. Santos, P. S. L. de Souza, S. M. Bruschi, and S. R. S. D. Souza. Amnesia : Um Simulador de Hierarquia de Memória. *Workshop sobre Educação em Arquitetura de Computadores*, pages 13–16, 2008.
- [11] P. Rocha, B. Ferreira, D. Monteiro, D. d. S. C. Nunes, and H. C. d. N. Góes. Ensino e aprendizagem de programação: análise da aplicação de proposta metodológica baseada no sistema personalizado de ensino. *RENOTE*, 2010.
- [12] A. S. Tanenbaum and H. Bos. *Modern Operating Systems*. Pearson Education, 2014.
- [13] F. Tiosso, S. M. Bruschi, P. S. L. de Souza, and E. F. Barbosa. Amnesia : um Objeto de Aprendizagem para o Ensino de Hierarquia de Memória. *XXV SBIE*, pages 80–89, 2014.
- [14] UNESCO and Commonwealth of Learning. Guidelines for Open Educational Resources (OER) in Higher Education, 2011.