Em Direção à Mediação do Erro por Meio de Um Arcabouço de Sistema Computacional

Title: Towards Error Mediation through a Computational System Framework

Alexander Robert Kutzke
Setor de Educação Profissional e Tecnológica
Universidade Federal do Paraná
alexander@ufpr.br

Alexandre Ibrahim Direne
Departamento de Informática
Universidade Federal do Paraná
alexnd@inf.ufpr.br

Resumo

O presente trabalho relata o estudo sobre a mediação do erro no ensino de programação de computadores. Para tanto, descreve-se a proposta de um arcabouço de sistema para a manipulação de registros de erros que promova a mediação do erro com participação efetiva do professor. A implementação deste arcabouço dá origem a ferramenta FARMA-ALG, a qual é descrita em detalhes. Relatam-se experimentos realizados através do uso da ferramenta FARMA-ALG em ambientes reais de ensino, bem como da análise da percepção dos alunos sobre a mediação do erro. Com isso, apontam-se indícios de que a ferramenta e, por consequência, o arcabouço propostos podem agir positivamente para a mediação do erro no trabalho educativo e na superação da visão tradicional do erro.

Palavras-chave: mediação do Erro; Ensino de Algoritmos; Ensino de Programação de Computadores; Informática Educativa.

Abstract

This paper reports the study on the error mediation in teaching computer programming. In order to achieve this goal, the proposal of a system framework for the manipulation of error records that promotes the error mediation with effective participation of the teacher is described. The implementation of this framework gives rise to the FARMA-ALG tool, which is described in detail. Experiments carried out using the FARMA-ALG tool in real teaching environments, as well as the analysis of students' perceptions about the error mediation are reported. The results indicate that the tool and, consequently, the proposed framework can act positively for the error mediation in the educational work and in the overcoming of the traditional view of the error.

Keywords: Error Mediation; Teaching of Algorithms; Teaching of Computer Programming; Educational Informatics.

1 Introdução

Durante atividades educativas alunos acabam, por vezes, cometendo erros. Exercícios respondidos de maneira incorreta e interpretações errôneas de conceitos são apenas alguns exemplos. Nesse contexto, quando a ocorrência desses erros se torna sistemática e recorrente, o aluno pode se sentir desmotivado com seu desempenho levando-o, inclusive, a consequências mais agudas, como o abandono dos estudos (Aquino, 1997).

Porém, muito ao contrário do que se pode interpretar, não é o errar do aluno que contribui para o seu fracasso, mas sim a falta de atenção dada ao seu erro. Em outras palavras, quando não mediado ou problematizado, o efeito cumulativo do erro é o próprio fracasso do estudante. Portanto, o aluno que erra e que permanece no erro por diversas razões, entre elas a falta de mediação apropriada pelo professor, é aquele que sofre o fracasso na escola.

O aluno que erra tem que enfrentar mais um problema: a culpabilização por seu erro. Ainda existem professores que possuem em seus ideários traços de uma visão negativa do erro pautada por princípios da Pedagogia Tradicional. Segundo essa concepção, o erro é a expressão de uma displicência do aluno com os estudos, ou ainda, de sua incapacidade psico-biológica. Diferentes estudos como (de Oliveira, 1997; Patto, 1996; Tuleski & Eidt, 2007) clarificam que, ao serem identificados com dificuldades de aprendizagem, alunos são enviados para avaliações psicológicas. Esse processo avaliativo acaba, por vezes, retirando o aluno do seu ciclo normal de aprendizagem. Além disso, boa parte deles são diagnosticados com uma variedade de “distúrbios de aprendizagem”, tornando-se alvos do crescente movimento de medicalização de crianças e adolescentes (Tuleski & Eidt, 2007).

Nesse sentido, estudam-se, recentemente, quais são as contribuições para alunos e professores da análise de erros cometidos por alunos durante o processo de ensino e aprendizagem. Pesquisas como as apresentadas por (Aquino, 1997) e (Pinto, 2000) são exemplos de trabalhos que reforçam a contribuição positiva do uso do erro na educação. No mesmo sentido, situam-se uma série de trabalhos que, além de demonstrar os benefícios da análise de erros nas atividades educativas, sinalizam que estes são ainda pouco explorados. Especificamente para (Serconek, 2006), tal fato possui relação com a associação do erro a um suposto fracasso do aluno, uma limitação inerente a ele.

Teorias pedagógicas comumente presentes no ideário dos professores, como as apresentadas por (Ferreira & Duarte, 2012), destacam a importância do “errar” durante o processo de ensino e aprendizagem. Apesar disso, muitos professores no decorrer de sua prática mantêm uma visão tradicional do erro (Serconek, 2011). Tal visão, aponta o erro como um resultado imediato da incapacidade intelectual do aluno ou da sua displicência com os estudos. Dessa forma, professores deixam de problematizar o erro.

Essa falta de problematização não provém diretamente da ausência de interesse ou da formação dos professores, mas sim de um contexto muito mais complexo. A análise de erros é uma tarefa árdua na educação escolar segundo (Serconek, 2006). Pois, professores são responsáveis, na maioria dos casos, por um número de alunos muito além do ideal, o que impossibilita a análise individual dos erros dos estudantes. Neste caso, os educadores acabam por recorrer a procedimentos de correção em grupo. Neste tipo de correção, os alunos deixam de sanar suas dúvidas, não

desenvolvem consciência de seus erros e permanecem sem reorientação por parte do professor.

Ao tomar-se a Pedagogia Histórico-Crítica e a Psicologia Histórico-Cultural (Martins, 2013; Saviani, 2012) na análise da questão da mediação do erro, entende-se que o aluno, por meio da ação pedagógica do professor (mediação) sobre a zona de desenvolvimento próximo (Martins, 2013), é capaz de superar um conceito simplificado já formado, composto por generalizações potencialmente incorretas. O que produz um processo contínuo de ampliação do conhecimento em direção a conceitos cada vez mais complexos.

Sem que haja uma análise do erro, professores não possuem condições ideais para refletir sobre seu próprio método de ensino. De acordo com tal problema, faz-se necessário facilitar o acesso aos registros de erros tanto para professores quanto para alunos, tendo como objetivo final a superação da visão tradicional do erro e a promoção de sua mediação. Uma mediação que se caracteriza não pela remoção do erro, mas por entendê-lo como parte integrante do processo de formação de conceitos (Serconek, 2006). Assim, para que este processo de mediação do erro seja possível, e para que produza impactos realmente relevantes no desenvolvimento humano dos alunos, são necessárias possibilidades de mudanças nas condições materiais (instrumentos pedagógicos) de professores e alunos.

Neste sentido, este trabalho propõe um arcabouço de sistema para solução de tal problema. Este arcabouço, fundamentado na Pedagogia Histórico-Crítica e na Psicologia Histórico-Cultural, permite ao professor visualizar e manipular registros de respostas e suas relações. Para tanto, desenvolve-se o conceito de grafo de similaridade entre respostas, sobre o qual, com participação ativa do professor, o sistema provê funcionalidades como: classificação semi-automática de respostas, recomendação de respostas para grupo de alunos e diferentes tipos de visualização dos dados armazenados. Com este instrumento, permite-se ao professor uma análise do processo de formação de conceitos do aluno de uma maneira mais concreta.

O arcabouço proposto foi implementado e testado para o ensino de programação de computadores. Durante este processo, foi possível notar a contribuição do sistema para a mediação do erro pelo professor, bem como, avaliar as impressões que os alunos apresentam sobre a questão da mediação do erro, com e sem a ferramenta proposta.

O restante deste artigo se organiza da seguinte maneira: a Seção 2 apresenta a resenha literária com uma visão geral dos trabalhos presentes na literatura relacionados ao uso do erro no processo de ensino e aprendizagem. A Seção 3 exhibe os fundamentos básicos da solução adotada e detalhes do arcabouço proposto. A implementação do arcabouço para o ensino de programação de computadores é descrita na Seção 4. A Seção 5 apresenta os principais resultados alcançados por meio da aplicação da ferramenta produzida. Por fim, a Seção 6 apresenta as principais conclusões obtidas com o estudo e aponta trabalhos futuros.

2 Trabalhos Relacionados

A presente Seção aborda, de maneira crítica, trabalhos existentes na área de Informática Educativa relacionados a esta pesquisa. De forma geral, são poucos os estudos que trabalham, especificamente, com registros de erros no processo de ensino e aprendizagem. Parte deles se encontram

no campo de Mineração de dados Educacionais (EDM) (Peña-Ayala, 2014). As análises mais frequentes envolvem dados de modelagem de estudantes por meio da análise da taxa de erros e outros dados, sistemas de monitoramento de estudantes e ferramentas de autoria.

No que diz respeito à modelagem de estudante, (Nwaigwe & Koedinger, 2011) analisam o desempenho de heurísticas para a previsão de taxas de erros de estudantes com o passar do tempo. Os autores de (Gogvadze, Sosnovsky, Isotani, & McLaren, 2011) avaliam um modelo bayesiano de erros de alunos, o qual foca na apresentação e na adaptação de exemplos errôneos no domínio dos decimais. O trabalho exposto em (Rau & Scheines, 2012), por sua vez, analisa dados de taxa de erros, uso de dicas e tempo de uso, obtidos durante o estudo de frações. Eles comparam o desempenho de alunos que tiveram acesso a múltiplas representações gráficas durante o processo de aprendizagem contra o desempenho de alunos que tiveram acesso apenas a uma representação gráfica.

Especificamente no que se refere a ferramentas de monitoramento de estudantes, situam-se trabalhos como (Dyckhoff, Zielke, Chatti, & Schroeder, 2011) e (Gaudencio et al., 2013). No último é apresentada a ferramenta TSTView, capaz de armazenar respostas de alunos para exercícios de programação de computadores. Tal ferramenta exhibe ao professor relatórios de desempenho dos estudantes, através de estatísticas e gráficos. Os autores ressaltam, também, a inexistência na literatura de discussões sobre a visualização e o acompanhamento dos dados obtidos por meio do armazenamento de respostas de alunos e o seu impacto prático sobre a sala de aula.

Em ferramentas de autoria, pode-se destacar o sistema FARMA (Marczal, Direne, Pimentel, & Krynski, 2015). Tal sistema, além de realizar o armazenamento automático das respostas dos alunos, propõe a retroação ao estado do sistema no momento em que o erro ocorreu como uma forma de promover o aprendizado. Contudo, a ferramenta não realiza nenhum processamento sobre os registros de erro armazenados.

Sistemas Tutores Inteligentes (STIs), por sua vez, tratam erros de alunos, de maneira geral, por meio de 3 processos: diagnóstico (Johnson & Soloway, 1985), remediação (Leite, Pimentel, & Pietruchinski, 2012) e classificação de erros (Leite, Pimentel, & Oliveira, 2011). O primeiro, diagnóstico, consiste em encontrar e classificar de maneira automática os erros cometidos pelos alunos durante o uso do sistema. A remediação de erros, por sua vez, é a ação, também automática, tomada pelo sistema quando um erro é capturado. Neste instante, é dado ao sistema a oportunidade de expressar fatos e regras que possam levar o aluno a corrigir o erro. Por fim, a classificação de erros, automática ou não, visa agrupar erros em diferentes classes de acordo com suas propriedades e detalhes pedagógicos. A Tabela 1 descreve uma categorização dos trabalhos citados em função do campo e estratégia utilizada.

Diante dessa breve resenha, pode-se concluir que poucos trabalhos fornecem apoio ao professor na análise de erros de alunos. Em geral, apresentam processos automáticos e análises estatísticas sem a participação do professor, o que impede um estudo mais profundo das causas concretas do erro. Outro ponto a ser destacado é a ausência de qualquer análise da relação entre diferentes registros de erro. Apenas foi possível constatar um tratamento individualista do erro sem o estudo de suas conexões e similaridades. O presente trabalho visa contribuir para a diminuição dessas lacunas.

As características apresentadas pelos trabalhos listados condizem com pedagogias centra-

Tabela 1: Relação de trabalhos relacionados com o estudo de erros de alunos.

Campo	Estratégia	Trabalhos
Mineração de dados educacionais (EDM)	Análise de taxa de erros de alunos	(Rau & Scheines, 2012), (Nwaigwe & Koedinger, 2011) e (Goguadze et al., 2011)
	Ferramentas de monitoramento de estudantes	(Dyckhoff et al., 2011) e (Gaudencio et al., 2013)
	Ferramentas de autoria	(Marczal et al., 2015)
Sistemas Tutores Inteligentes (STI)	Diagnóstico	(Johnson & Soloway, 1985)
	Remediação	(Leite et al., 2012)
	Classificação de erros	(Leite et al., 2011)

das no aluno e não no professor. Demonstram uma tendência de valorização da aprendizagem em detrimento da transmissão do conhecimento (Ferreira & Duarte, 2012). Tendência esta contrária às concepções da Pedagogia Histórico-Crítica, as quais privilegiam a educação pautada na transmissão do conhecimento científico para a produção de um processo dialético de desenvolvimento e aprendizagem (Martins, 2013). É nesse sentido que busca-se, no presente trabalho, uma opção para a instrumentalização de professores a fim de que possam alcançar tal transmissão.

3 Metodologia de Solução

Diante da pesquisa realizada sobre a problematização da mediação do erro no processo de ensino e aprendizagem, conclui-se que uma série de barreiras dificultam tal atividade. Uma das barreiras mais fundamentais é a impossibilidade de acesso aos registros devido a sua quantidade e falta de organização.

Nesse sentido, a presente Seção, descreve um arcabouço de sistema para manipulação de registros de erros com o objetivo de instrumentalizar professores e alunos na busca da mediação do erro no processo de ensino e aprendizagem. Sendo assim, o objetivo central do arcabouço proposto é definir a estrutura e as funcionalidades necessárias a um sistema capaz de auxiliar na mediação do erro através da facilitação do acesso de professores e alunos aos dados relevantes para tal. Portanto, são definidas as linhas gerais de desenvolvimento de um sistema computacional.

3.1 Conceitos Fundamentais

A hipótese central desta pesquisa é determinada sobre a contribuição da manipulação dos registros de erros na prática docente (Kutzke & Direne, 2016). Dessa forma, argumenta-se que o armazenamento, a recuperação, a manipulação e a visualização de registros de erros promovem a mediação do erro. O sistema previsto pelo arcabouço considera algumas premissas: trata-se um ambiente computacional em que os alunos possuem acesso às questões (ou Objetos de Aprendizagem (O.A.s)) formuladas e disponibilizadas pelo professor. Os alunos podem, então, interagir com tais questões através da submissão de respostas. Para cada resposta submetida, o sistema a armazena e a usa como base para o seu funcionamento. É a partir dessa estrutura básica, que o arcabouço a ser apresentado detalha formas para o armazenamento, recuperação, manipulação e visualização das respostas enviadas pelos alunos, a fim de promover a mediação do erro.

Nesse sentido, em essência, os registros de respostas submetidos pelos alunos se mostram como objeto fundamental de análise do arcabouço. Vale ressaltar aqui que um “registro de resposta” se refere ao conteúdo da resposta em si juntamente de todos os seus dados relativos como enunciado, data, número da tentativa etc.

Embora o registro de resposta seja o dado fundamental a ser estudado, é necessário atenção para outra propriedade pertinente a este componente. Para a teoria da Psicologia Histórico-Cultural, ao se partir do princípio de que o erro faz parte de um movimento de construção de conceitos científicos (Kutzke & Direne, 2016), deve-se considerar que um registro de resposta, errado ou não, não pode ser concebido de maneira isolada, “por si só”. Este deve ser entendido sob uma perspectiva mais ampla, que considere a unidade de suas relações e inter-conexões com outros erros e dados. Surge aí o conceito fundamental do arcabouço: registros de respostas se relacionam entre si de diferentes maneiras; isto é, respostas são similares à outras sob diferentes aspectos (sintáticos, semânticos etc.).

Por essa razão, o arcabouço proposto trabalha sobre as relações de similaridade existentes entre diferentes respostas. Considera-se que através da análise de tais relações, pode-se captar propriedades relevantes para a mediação do erro. Essas relações podem ser de similaridade sintática (como uso de palavras ou dados semelhantes) ou semântica (como o uso de um mesmo conceito). Através dessa concepção de relacionamento entre registros de respostas, as funcionalidades previstas pelo arcabouço provêm o estudo e a manipulação de tais registros. Para tanto, o arcabouço é formado por 4 componentes diferentes no que diz respeito ao processamento de registros de resposta e suas similaridades: (1) armazenamento, (2) recuperação, (3) manipulação e (4) visualização semântica.

O armazenamento dos registros de resposta tem o objetivo de que nenhuma resposta dada pelo aluno se perca ou seja ignorada. Assim, com o uso de longo prazo da ferramenta, os dados do aluno permanecem armazenados. O que possibilita uma análise concreta do processo de desenvolvimento dos seus conceitos científicos. A recuperação dos registros de resposta (2) visa dar acesso facilitado para alunos e professores aos registros. A recuperação de uma resposta deve ser simples e efetiva, com intuito de diminuir impedimentos para a mediação do erro. A manipulação dos registros (3), por sua vez, é composta pela classificação¹ e controle das relações de similaridade das respostas. É uma funcionalidade disponibilizada para que professores exerçam operações sobre o conjunto de dados armazenados. Juntamente com o auxílio da visualização dos dados, professores podem se apropriar das informações armazenadas e aplicar seu conhecimento sobre estas. Por fim, a visualização dos registros de resposta (4) possibilita o acesso à expressões gráficas das respostas armazenadas. Procura-se facilitar a abstração e assimilação dos dados para que estes sirvam como facilitadores do processo de ensino e aprendizagem. A Figura 1 apresenta a organização gráfica desses componentes. As próximas Seções descrevem detalhes de cada um deles.

3.2 Armazenamento

O componente de armazenamento do arcabouço tem por função, como já descrito, garantir que todas as respostas submetidas sejam armazenadas e que permaneçam acessíveis a qualquer mo-

¹Exposta em detalhes na Seção 3.4.

Figura 1: Componentes do arcabouço.

mento. Para tanto, este componente é dividido em três partes básicas: base de dados, máquina de similaridade e grafo de similaridade.

A base de dados não possui nenhuma particularidade especial. Deve, apenas, armazenar todos os registros de respostas e seus dados relacionados de maneira simples. A máquina de similaridade, por sua vez, é responsável por realizar o cálculo de similaridade entre os registros, determinando, assim, através de diferentes atributos, o grau de semelhança entre as respostas.

Deve-se notar aqui que o grau de semelhança entre duas respostas é predominantemente dependente do domínio, ou disciplina, da qual a questão respondida faz parte (isto é, português, matemática, história, programação etc.). Por exemplo, os atributos que identificariam uma semelhança entre dois registros de respostas para uma disciplina de matemática não seriam, necessariamente, atributos úteis na análise de respostas para questões de história. Em outras palavras, a máquina de similaridade deve ser capaz de, dados dois registros de respostas, estipular segundo critérios específicos do domínio em questão, o grau de semelhança entre eles.

A partir das relações de semelhança obtidas pela máquina de similaridade e pelas definições do professor, é possível que um grafo seja gerado, nomeado grafo de similaridade. Neste, os vérti-

ces representam as respostas armazenadas, e as arestas ligam respostas consideradas semelhantes. O peso de cada aresta representa o grau de semelhança entre duas respostas.

Através do grafo de similaridade, forma-se a estrutura de dados base para o arcabouço, pela qual será possível a realização de asserções e generalizações sobre o conjunto de respostas armazenadas. Além disso, a definição do grafo de similaridade permite a aplicação de diferentes técnicas de teoria de grafos para a extração de importantes informações sobre os registros de respostas e suas relações.

3.3 Recuperação de Registros

O processo de recuperação de registros de resposta é composto por duas funcionalidades: busca por palavras-chave e meta-dados e recomendação de respostas e questões.

Um sistema de busca por palavras-chave e meta-dados como nome do aluno, turma, intervalo de tempo, exercício e etc., é disponibilizado ao professor e ao aluno. Dessa forma, é possível recuperar, de maneira facilitada, dados específicos que sejam de interesse de ambos em prol da mediação do erro.

Além da busca, o arcabouço deve ser capaz de encontrar automaticamente registros de resposta e questões que podem ser de alta relevância pedagógica para um grupo específico de alunos a partir da análise do grafo de similaridade. Tais registros são apresentados ao professor na forma de recomendações. Estas sugerem que o professor realize comentários sobre as respostas e questões informadas. Caso a recomendação seja aceita pelo professor, seus comentários são enviados ao grupo de alunos.

A definição de quais respostas e questões são relevantes para um grupo de alunos é composta por 3 etapas: (1) encontram-se grupos de alunos com alto grau de semelhança entre suas respostas; (2) para cada um dos grupos, define-se quais questões possuem, supostamente, maior relevância para o grupo; (3) dentre as respostas dadas pelos alunos do grupo às questões consideradas relevantes, encontram-se as mais representativas. A Figura 2 apresenta graficamente a organização de tais etapas.

Esse processo, de definição de relevância, segue da seguinte forma: diante da análise do grafo de similaridade de respostas, o sistema é capaz de derivar outro grafo: o grafo de similaridade entre alunos. Este é definido pela análise da semelhança entre as respostas de diferentes alunos. Quanto maior a média de semelhança entre as respostas de dois alunos maior é a semelhança entre eles. Uma vez definido o grafo de similaridade de alunos, é possível encontrar suas componentes conexas², ou seja, definir grupos de alunos similares entre si (1).

Inicia-se, então, a definição da questão mais relevante para cada grupo de alunos (2). Uma questão é dita relevante para um grupo de alunos se a média de similaridade das respostas dos alunos do grupo para a questão é maior do que um certo limiar. O sistema seleciona, assim, as questões com maior relevância.

Para as questões selecionadas, define-se o conjunto de respostas mais representativas (3). Ou seja, o conjunto que melhor representa todas as respostas dadas pelo grupo de alunos para tal

²Para a definição de grupos de alunos similares é possível determinar um limiar mínimo de similaridade para que uma aresta seja incluída na componente conexa.

Figura 2: Representação gráfica do processo de geração de recomendações de respostas.

questão. Esse conjunto é composto pelas respostas que possuem as maiores médias de similaridade entre as demais. Dessa forma, o sistema é capaz de definir para um grupo de alunos registros de respostas e questões possivelmente relevantes. Cabe ao professor analisar a relevância e realizar a mediação de tais registros. O trabalho apresentado por (Kutzke & Direne, 2015) descreve em detalhes o algoritmo exposto.

Além da recomendação automática, outro modo de operação é fornecido ao professor. Neste modo operativo, é possível que o professor possa agir pedagogicamente por meio da recomendação manual. Respostas e exercícios adicionais podem ser enviados a um aluno, ou a um grupo de alunos, juntamente com comentários dados pelo professor.

3.4 Manipulação

A manipulação dos registros se caracteriza pelas operações de categorização de respostas e inserção e remoção de relações entre respostas. Essas ações são disponíveis ao professor. A ação de categorização se resume à atribuição de uma ou mais palavras-chaves, ou tags, a um registro. A inserção e a remoção de relações entre respostas são ações que permitem ao professor adicionar e remover relações de semelhança entre registros de respostas. Assim, por um lado, é possível adicionar relações que não foram inferidas automaticamente pela máquina de semelhança. E por outro lado, pode-se remover relações potencialmente erradas definidas anteriormente pela máquina de semelhança ou pelo próprio professor.

A partir das ações de manipulação executadas pelo professor, o sistema agrega subsídios para realizar generalizações automáticas sobre as categorizações das respostas. Tais generalizações, referem-se às atribuições de tags de maneira automática para respostas semelhantes as classificadas pelo professor.

Para cada generalização feita pelo sistema, o professor pode, se desejar, confirmá-la ou negá-la. Nesse sentido, a cada nova informação dada a ferramenta se adapta. Portanto, quanto maior for a participação do professor no sistema, pode-se dizer que, mais “treinada” será a generalização executada.

O processo de generalização descrito acima é definido, neste trabalho, como o processo de propagação de tags sobre o grafo de similaridade. Ao executar qualquer uma das operações de manipulação, o sistema propaga as alterações por meio do grafo de similaridade. Para um maior esclarecimento de como ocorre esse processo é apresentado a seguir o algoritmo para a propagação de tags.

3.4.1 Algoritmo para Propagação de Tags

Consideramos um grafo de similaridade G , não dirigido, que representa as respostas (vértices) V e suas relações de similaridade (arestas) E . Cada relação possui um peso, o qual indica o valor de certeza da mesma. Consideramos, também, $P(v_i, t)$ como a probabilidade da tag t ser atribuída ao vértice v_i . Caso o professor tenha atribuído, ou confirmado, a tag t ao vértice v_i , dizemos que $P(v_i, t) = 1$, pois esta foi explicitamente definida pelo professor. Similarmente, caso o professor tenha rejeitado a atribuição de t à v_i , dizemos que $P(v_i, t) = 0$. O processo de propagação de tags pelo grafo é como segue abaixo.

Em primeiro lugar, adicionam-se os vértices modificados pela operação de manipulação em uma fila de espera. Retira-se, então, o primeiro vértice v_i da fila e marca-se este como visitado. Para cada um de seus vizinhos ainda não visitados, atribui-se as tags de v_i . A atribuição de tags de um vértice a a outro vértice b é a cópia das tags de a para b , com a alteração dos valores de $P(b, t)$, para cada tag t de a . Tal correção ocorre da seguinte maneira:

$$P(b, t) = W(a, b) * P(a, t) \quad (1)$$

onde $W(a, b)$ é o peso da aresta entre os vértices a e b . Ou seja, é o próprio grau de semelhança entre os vértices e é um valor entre 0 e 1. Caso haja alguma alteração nas tags de b , este é adicionado à fila de espera. O processo continua até que a fila esteja vazia³.

3.5 Visualização de Dados

O professor tem acesso a dois tipos de visualização das respostas armazenadas. O primeiro é a visualização gráfica do grafo de similaridade, no qual é possível visualizar o grafo e realizar operações de manipulação sobre as respostas. Assim, o educador tem uma representação gráfica dos dados armazenados, o que pode favorecer sua abstração e assimilação.

O outro tipo de visualização possibilita, a professores e alunos, o acesso às respostas representadas sobre uma linha do tempo. Isto é, essa visualização respeita a ordem cronológica das tentativas dos alunos. Com isso, existem mais fundamentos para uma análise contextualizada do

³Um detalhe merece atenção no processo de atribuição de tags entre dois vértices: um vértice pode receber uma mesma tag t partir de mais de um vizinho. Neste caso, considera-se apenas a tag recebida pelo vizinho ligado pela aresta de maior peso, ou seja, pelo vizinho de maior semelhança.

processo de formação de conceitos do aluno.

3.6 Cenários de Uso

A seguir são descritos alguns possíveis cenários de uso para um suposto sistema construído com bases no arcabouço proposto. O objetivo é clarificar o processo de uso do sistema, tanto por parte do aluno quanto do professor.

Entretanto, vale ressaltar que nem todas as possibilidades de uso fornecidas pelo protótipo estão cobertas por tais cenários. Apenas um pequeno conjunto de funcionalidades foram descritas.

Os cenários a seguir supõem uma implementação do arcabouço para o ensino de programação de computadores e consideram que os alunos já realizaram interações com o sistema e submeteram respostas a algumas questões disponibilizadas pelo professor. Assim, no momento suposto pelos casos de uso, a similaridade entre as respostas submetidas já foi calculada e, com isso, o grafo de similaridade já foi gerado.

3.6.1 *Uso básico do Aluno*

O aluno acessa o sistema. Na tela inicial, encontra recomendações de erros com comentários deixados pelo professor, e novos exercícios propostos. Ao analisar um erro recomendado, o aluno seleciona a opção de realizar uma nova tentativa.

Ao submeter essa nova resposta, ainda incorreta, o aluno recebe do sistema informações sobre o resultado de sua tentativa. Dentre as informações estão: (1) um comentário (previamente armazenado pelo professor) para cada caso de teste em que a resposta não obteve sucesso; (2) caso o professor permita, são exibidas, também, as entradas utilizadas em cada caso de teste e (3) as últimas tentativas enviadas pelo aluno, com a descrição das falhas de cada uma. Se desejar, o aluno tem acesso a todas suas tentativas anteriores, através da visualização de linha do tempo.

Analizando os comentários do professor, o aluno faz uma nova tentativa, agora correta. O sistema retorna a informação de que a resposta está correta, e apresenta as sugestões de novos exercícios enviadas pelo professor.

3.6.2 *Uso básico do Professor*

Cenário com grupo de alunos: o professor acessa o sistema. Na tela inicial, recebe recomendações de erros similares entre si ainda não classificados, gerados pelo algoritmos de recomendação de respostas. Tais erros, como informado pelo sistema, foram cometidos por um conjunto de alunos. A recomendação é acompanhada da informação de que todos estes erros falharam em um mesmo caso de teste para o exercício em questão.

Ao acessar mais informações sobre os erros recomendados, o professor é guiado ao grafo de similaridade, pelo qual manipula as respostas, adicionando e retirando relações de similaridades, e, por fim, classificando o erro (indicando tags). O sistema, então, realiza generalizações (por meio do algoritmo de propagação de tags) através das informações adicionadas pelo professor, atualizando sua base de conhecimento.

Ao final, é apresentado ao professor, no grafo de manipulação de respostas, o grupo atualizado de alunos com erros desse tipo. Analisando os dados obtidos, o professor tem acesso a algumas possibilidades para ações pedagógicas. Em uma delas, ele tece comentários sobre os erros para o grupo de alunos e os recomenda exercícios. Tais comentários e recomendações estarão disponíveis para cada aluno presente no grupo ao acessarem o sistema.

Cenário com um único aluno: professor acessa o sistema. Na tela inicial, recebe recomendações de erros similares cometidos por um mesmo aluno. A recomendação é acompanhada da informação de que este aluno tem muitos erros classificados com a tag “variável de controle de loop não é atualizada”. Assim, o professor realiza a análise do histórico de tentativas do aluno através da visualização de linha do tempo, fornecida pelo sistema. A partir disso, algumas ações pedagógicas são definidas pelo professor. Entre elas estão o envio de comentários ao aluno e a recomendação de erros e exercícios para análise do próprio aprendiz.

4 Desenvolvimento do Sistema para Ensino de Programação de Computadores

A implementação do arcabouço proposto nesse trabalho foi direcionada para o ensino de programação de computadores. Entretanto, tal arcabouço permite que qualquer domínio de conhecimento (dadas as devidas adaptações) seja utilizado. Nesta Seção são apresentados os detalhes dessa implementação.

A ferramenta FARMA (Marczal et al., 2015) foi escolhida como base à aplicação do arcabouço proposto, dando origem a ferramenta implementada, chamada de FARMA-ALG (Kutzke & Direne, 2015). Duas razões principais direcionaram essa escolha, são elas: a ferramenta apresenta uma boa forma de autoria de Objetos de Aprendizagem aos professores; e, também, já realiza o armazenamento automático das respostas.

Para que a ferramenta FARMA comporte exercícios de programação, é necessária a criação de um sistema avaliador capaz de determinar se uma resposta está ou não correta. No contexto dessa implementação, as respostas dos exercícios são códigos fonte de programas escritos nas linguagens C, Pascal ou Ruby.

O método de avaliação das respostas se aproxima do utilizado pelo software BOCA (De Campos & Ferreira, 2004). Neste método, a resposta do aluno é aferida a partir de pares de entrada e saída, ou casos de teste, previamente definidos pelo professor. Para cada caso de teste, a resposta tem seu resultado armazenado. Se o resultado for considerado incorreto, o aluno recebe como retorno comentários previamente armazenados pelo professor.

Nessa implementação, a semelhança entre duas respostas é baseada em vários fatores, entre eles: grau de semelhança (de texto) entre a saída obtida para cada conjunto de testes e a saída esperada; grau de semelhança entre as saídas obtidas para cada caso de teste; e grau de semelhança entre o código-fonte das respostas.

5 Experimentos e Resultados

A presente Seção descreve os dados e conclusões obtidos através da aplicação da ferramenta FARMA-ALG em ambientes reais de ensino de programação de computadores. Bem como, a percepção de alunos sobre a mediação do erro em suas atividades acadêmicas.

5.1 Contexto dos Experimentos

Durante o primeiro semestre de 2014 e o segundo semestre de 2015, o sistema foi aplicado aos alunos da disciplina de Algoritmos e Estruturas de Dados 1 no Departamento de Informática da Universidade Federal do Paraná. Tal disciplina visa o ensino de conceitos básicos de programação utilizando a linguagem Pascal. Os alunos participantes pertenciam, em sua maioria, ao primeiro período do curso de Bacharelado em Ciência da Computação da referida instituição.

A metodologia usual utilizada pelos professores da disciplina inclui a realização, pelos alunos, de listas de exercícios durante o semestre letivo. Assim, os alunos poderiam utilizar a ferramenta FARMA-ALG para a resolução das listas de exercícios em oposição ao procedimento usual de entrega dos exercícios por e-mail.

Ao final do período de experimentos, um total de 75 alunos realizaram cadastro no sistema e submeteram mais de 4000 respostas no total. Esse conjunto de dados foi utilizado para realizar diferentes tipos de validação da ferramenta. Algumas delas são destacadas a seguir.

5.2 Experimentos Prévios

Em (Kutzke & Direne, 2016) foi avaliado o impacto do uso do FARMA-ALG no desempenho acadêmico dos alunos. Para tanto, considerou-se apenas a turma de alunos pertencentes ao primeiro semestre de 2015. Assim, ao início do semestre, por meio das notas alcançadas pelos estudantes em um pré-teste, a turma foi dividida em dois grupos de desempenho uniforme: Grupo Controle (GC), composto por 57 alunos, o qual não fez uso da ferramenta durante a disciplina e; Grupo Experimental (GE), composto por 59 alunos, o qual utilizou a ferramenta para a resolução e entrega das listas de exercícios.

Observou-se, segundo análises estatísticas sobre o desempenho obtido pelos alunos, uma melhora no GE em vários aspectos. Dentre eles, o estudo aponta um aumento (de 51,42 para 60,50) na média das notas⁴ do GE no período considerado mais complexo da disciplina, no qual, historicamente, existe uma queda de rendimento dos alunos. Nessa etapa da disciplina, segundo dados dos 11 semestres anteriores ao experimento, apenas 18,80% das turmas apresentam uma melhora de desempenho. O GC não apresentou o mesmo rendimento (queda de 58,33 para 58,00). Além disso, concluiu-se, também, que o GE expôs um baixo nível de desistência (25,42%) quando comparado ao GC (38,59%) e com o histórico de semestres anteriores (36,40%). O experimento indicou, ainda, que até mesmo alunos do GE com baixo desempenho continuaram as atividades até a conclusão da disciplina, comportamento não observado no GC.

O estudo (Kutzke & Direne, 2015), por sua vez, descreve experimentos realizados para va-

⁴As notas da disciplina variam de 0 à 100.

lidação do algoritmo de recomendação de respostas exposto na Seção 3.3. Considerou-se para o experimento uma fração da base de dados recolhida durante o uso da ferramenta pelos alunos. Assim, a base utilizada na validação incluiu 2415 respostas incorretas, submetidas por um conjunto de 63 alunos durante um período de 80 dias. Testes em diferentes cenários (números de respostas, número de alunos, diferentes valores para parâmetros do algoritmo etc.) foram realizados.

Os resultados obtidos indicam que o algoritmo é capaz de gerar recomendações relevantes em todos os ambientes avaliados, mesmo com um número baixo de respostas. Com cerca de 8 respostas por aluno, já foi possível produzir recomendações que se mostraram relevantes ao serem analisadas por professores. O número de recomendações obtidas se apresentou aceitável (aproximadamente, uma recomendação a cada 100 respostas incorretas). Entretanto, o estudo aponta que ainda há a necessidade de novos testes com um conjunto de dados mais completo, principalmente para medidas de desempenho do algoritmo e uma avaliação mais precisa da qualidade das recomendações produzidas.

De maneira geral, com base nos diferentes experimentos realizados, há indícios para concluir que a ferramenta FARMA-ALG permite aos monitores/professores das disciplinas uma mediação mais ativa dos erros por meio do acesso aos registros de resposta. Anteriormente ao uso do sistema, a oportunidade de intervenção durante o processo de resolução dos exercícios pelos alunos era perdida, pois os monitores apenas recebiam as respostas finais de cada estudante. Além da clara facilidade proporcionada pelo processo de correção automática das respostas, o sistema ainda possibilita:

- a classificação automática⁵ de registros de respostas e seu aprimoramento pela manipulação do grafo de similaridade;
- a análise do processo de formação de conceitos de alunos por meio da visualização dos registros de resposta;
- a recomendação de registros de respostas para grupos de alunos que, sem o sistema, possivelmente não seriam percebidos;
- a recuperação de respostas durante o atendimento individual de alunos.

5.3 Análise da Visão dos Alunos Sobre a Mediação do Erro

Com o objetivo de conhecer a concepção dos alunos sobre a mediação do erro e de atrelar as conclusões teóricas obtidas com o estudo à prática educativa, um breve questionário foi aplicado aos mesmos alunos observados nos experimentos apresentados na Seção 5.2.

5.3.1 Metodologia

Como apontado pelos estudos de (Serconek, 2011), a suposta visão negativa do erro existente no ambiente escolar (aquela que culpabiliza o aluno) acaba por criar um quadro pouco propício para

⁵ Algumas tags foram adicionadas automaticamente durante a correção das respostas. Tags como “Erro de Compilação”, “Tempo excedido”, “Erro de Saída”, entre outras foram utilizadas.

a mediação. Por parte do professor, este não considera o erro do aluno como uma oportunidade de aprendizado, e por vezes, o pune. Já por parte do aluno, este acaba por absorver a culpa e a, de certa forma, temer o errar.

Assim, o presente experimento visa reconhecer qual a visão dos alunos do curso analisado (primeiro semestre de Ciência da Computação) sobre a mediação do erro. Procurou-se, com isso, definir um quadro geral sobre a questão da mediação na concepção dos alunos, bem como estabelecer se o uso de uma ferramenta de mediação do erro pode favorecer a superação da visão negativa do erro. Para tanto, produziu-se um questionário de 8 perguntas envolvendo perguntas sobre como o aluno e seus professores (segundo a visão do aluno) consideraram e trabalham com o seu erro durante a prática educativa.

O questionário foi disponibilizado na internet e sua realização foi voluntária. Apenas foram enviados e-mails incentivando a participação dos alunos. As oito perguntas presentes no questionário são descritas a seguir:

1. Quão importante é, para você, a análise de respostas erradas (erros) durante sua aprendizagem? (*Escala: [1] Pouco importante ... [5] Muito importante*);
2. Com que frequência você costuma analisar seus próprios erros nas atividades escolares/universitárias? (*Escala: [1] Quase nunca ... [5] Sempre analiso meus erros*);
3. De que maneiras você costuma analisar suas respostas erradas? (*opções: “Não costumo analisar minhas respostas erradas”, “Perguntando ao professor”, “Refletindo sozinho”, “Perguntando a colegas” e “Outro”*);
4. Na sua opinião, quão relevante seria uma ferramenta computacional para facilitar a análise de suas respostas? (*Escala: [1] Não faria diferença ... [5] Muito importante*);
5. Com que frequência seus professores costumam analisar respostas erradas? (*Escala: [1] Quase nunca ... [5] Meus professores sempre analisam respostas erradas*);
6. Na sua opinião, qual a importância que seus professores dão às respostas erradas de seus alunos? (*Escala: [1] Pouco importante ... [5] Muito importante*);
7. Qual o seu sentimento sobre questionar o professor referente à alguma resposta incorreta? (*Escala: [1] Péssimo. Inclusive já deixei de perguntar em diversas oportunidades ... [5] Sem problemas, sempre que tenho dúvidas, questiono meus professores*);
8. Alguns de seus professores já utilizaram ferramentas para facilitar a análise das respostas da turma?

Com exceção das questões 4 e 8, as respostas esperadas pelo questionário eram do formato de escala, onde os alunos deveriam escolher um valor entre 1 e 5 de acordo com o critério exposto na pergunta. A intenção desse tipo de questão era proporcionar uma maior liberdade às respostas dos estudantes, mas sem que as opções se tornassem muito amplas, garantindo, assim, a possibilidade de uma análise estatística posterior.

Nesse contexto, durante o primeiro semestre de 2015, 52 alunos responderam o questionário. Dentre esses, 37 estavam em plena utilização da ferramenta FARMA-ALG durante a aplicação da pesquisa como ferramenta de apoio à disciplina de Algoritmos e Estruturas de Dados I, e 15, também cursando a mesma disciplina, não tinham acesso ao FARMA-ALG. Os sumários das respostas colhidas para cada questão são apresentados nas Figuras 3 até 10.

5.3.2 *Análise dos Resultados*

A primeira pergunta visava obter uma breve noção da importância dada pelos alunos à mediação do erro durante a aprendizagem. Os resultados apresentados na Figura 3 demonstram que a grande maioria dos estudantes considera a mediação do erro como muito importante. O que reforça a relevância de estudos para a facilitação desse processo.

O quão importante é, para você, a análise de respostas erradas (erros) durante sua aprendizagem?

Figura 3: Sumário das respostas para a primeira pergunta do questionário para alunos sobre mediação do erro.

A pergunta seguinte (Figura 4) questionava aos alunos sobre a frequência com que realizavam a análise dos seus próprios erros. Nesse caso, a maioria das respostas se distribuíram sobre os valores de 3 à 5. Isso indica que os alunos que responderam o questionário costumam rever seus erros com uma frequência entre média e alta. Apenas 2 alunos afirmaram não ter um costume de analisar seus erros com tal frequência. A terceira pergunta dava diferentes opções de escolha para que os alunos determinassem de que forma a análise dos próprios erros ocorria na maioria das vezes. Aqui, de acordo com os resultados apresentados na Figura 5, pode-se perceber algo relevante. A grande maioria dos alunos questionado apontou a opção “Refletindo sozinho” como a forma predominante de análise. Considerando as bases teóricas desse estudo, tem-se claro que a mediação do erro sem a participação do professor se torna fragilizada (Serconek, 2011; Kutzke & Direne, 2016). E, baseado nas respostas dos alunos, tem-se que a forma de análise do erro com participação do professor (“Perguntando ao professor”), é preterida ao questionamento a outros colegas (“Perguntando aos colegas”). Dessa maneira, constata-se a importância de uma maior participação dos professores na mediação do erro de seus alunos. Salientando, mais uma vez, a necessidade de sistemas computacionais que auxiliem professores nessa tarefa.

As respostas à quarta questão (Figura 6) apontam com clareza a concepção dos alunos de que uma ferramenta computacional seria de grande relevância no auxílio à análise dos erros. Mais da metade dos alunos considerou a existência de tal ferramenta como “muito importante”.

As quatro últimas perguntas do questionário objetivavam estabelecer um panorama de como

Com que frequência você costuma analisar seus próprios erros nas atividades escolares/universitárias?

Figura 4: Sumário das respostas para a segunda pergunta do questionário para alunos sobre mediação do erro.

De que maneiras você costuma analisar suas repostas erradas?

Figura 5: Sumário das respostas para a terceira pergunta do questionário para alunos sobre mediação do erro.

os alunos percebiam o trabalho de mediação do erro de seus professores. Assim, a quinta questão (Figura 7) abordou a frequência com que os estudantes percebiam tal mediação. Nesse caso, a maior parte deles apontou uma frequência média. Algo entre “Quase nunca” e “Sempre”. Quase metade dos alunos respondeu com os valores 4 e 5, indicando que seus professores comumente realizam a mediação do erro. Entretanto, é importante notar, também, que cerca de 20% dos estudantes classificou a análise dos erros por seus professores com valores 1 e 2. Ou seja, embora grande parte perceba a mediação do erro com uma alta frequência, uma parcela expressiva dos alunos discorda dessa visão.

Ambas as visões apresentadas pelos alunos para essa questão indicam pontos valiosos para o presente estudo. Por um lado, o fato da maioria das respostas serem de valores entre 3 e 5, descrevem um cenário em que a mediação do erro é executada com frequência. Nesse sentido, nota-se um campo fértil para pesquisas computacionais para o auxílio dessa tarefa. Por outro lado, os valores entre 1 e 2 mostram a necessidade, também importante, de se motivar professores a realizar a mediação do erro. A não mediação do erro resulta, de maneira geral, da (e na) já descrita visão negativa presente no ideário docente. Portanto, ressalta-se, mais uma vez, que tal visão deve ser superada e que uma ferramenta computacional que auxilie na mediação do erro pode impulsionar esse processo.

As respostas obtidas pela quinta questão estão em consonância com os resultados apresentados pela questão seguinte (Figura 8). Nesta, perguntou-se aos alunos sobre a sua percepção da importância dada por seus professores aos erros dos alunos. Mais uma vez, a maioria das respostas se distribuíram entre os valores de 3 a 5. Portanto, conclui-se que os alunos percebem que o grau de importância da mediação do erro manifestado pelos professores está entre “média” e “alta”.

Na sua opinião, quanto relevante seria uma ferramenta computacional para facilitar a análise de suas respostas?

Figura 6: Sumário das respostas para a quarta pergunta do questionário para alunos sobre mediação do erro.

Com que frequência seus professores costumam analisar respostas erradas?

Figura 7: Sumário das respostas para a quinta pergunta do questionário para alunos sobre mediação do erro.

Porém, ainda nota-se que cerca de 20% dos alunos discordam dessa visão. Constata-se, assim, que existe uma carência no trabalho dos professores, no que se refere à mediação do erro.

Na sua opinião, qual a importância que seus professores dão às respostas erradas de seus alunos?

Figura 8: Sumário das respostas para a sexta pergunta do questionário para alunos sobre mediação do erro.

Os resultados obtidos pela sétima pergunta (Figura 9) são expressivos. Ao questionar aos alunos sobre seu sentimento no momento que em precisam manifestar alguma dúvida ao professor durante a aprendizagem, poucos afirmaram não ter problemas com isso e que costumam realizar perguntar ao professor. A grande maioria dos alunos se posicionou com um sentimento mediano, entre “péssimo” e “sem problemas”.

Nesse ponto, é necessário uma breve análise com relação ao significado do questionamento dos alunos durante a mediação do erro. Sem uma abertura para que as perguntas dos alunos acon-

Qual o seu sentimento sobre questionar o professor referente à alguma resposta incorreta?

Figura 9: Sumário das respostas para a sétima pergunta do questionário para alunos sobre mediação do erro.

teçam, professores tem suas possibilidades de mediação reduzidas. A manifestação de dúvidas pode trazer à tona uma necessidade de análise de algum erro. Como já destacado, o professor não é capaz de analisar e/ou organizar todas as respostas dadas por seus alunos. Portanto, a enunciação de uma dúvida é um momento em que o professor tem acesso a um indício sobre em que ponto do conteúdo a mediação do erro deve agir.

Dessa forma, a constatação de que a maioria dos alunos se sente de maneira mediana com relação à segurança de perguntar algo ao professor sugere a necessidade de possibilitar uma melhor comunicação entre professor e aluno. Certamente, para que a mediação do erro ocorra de maneira ideal, a grande maioria das respostas deveria ter valor 5. Alunos não deveriam ter qualquer receio em levantar dúvidas. Entretanto, o que se percebe é uma realidade muito mais preocupante. Mais de um quarto dos alunos questionados afirmam ter problemas para perguntar suas dúvidas e que, inclusive, já deixaram de indagar seus professores em oportunidades anteriores.

Por fim, a oitava e última pergunta do questionário (Figura 10) visava a constatação do uso de alguma ferramenta computacional para o auxílio da mediação do erro durante o trabalho educativo vivenciado pelos alunos. Os resultados obtidos apontam que mais de 80% dos alunos nunca tiveram professores que utilizaram alguma ferramenta do tipo. Os poucos alunos que já tiveram alguma experiência com ferramentas para facilitar a análise das respostas da turma citaram o próprio FARMA-ALG (o qual já havia sido utilizado por poucos alunos no semestre anterior) e o software Moodle. Nota-se, assim, que, embora os alunos tenham salientado, na quarta questão, que consideram muito importante ferramentas desse tipo, docentes ainda carecem de opções relevantes e de motivação para o uso de softwares para a mediação do erro.

Alguns de seus professores já utilizaram ferramentas para facilitar a análise das respostas da turma?

Figura 10: Sumário das respostas para a oitava pergunta do questionário para alunos sobre mediação do erro.

Como mencionado, dentre os alunos questionados, 15 não tiveram acesso à ferramenta

FARMA-ALG durante o semestre em que o questionário foi aplicado. Ao se analisar isoladamente as respostas desse grupo de alunos, pode-se perceber algumas diferenças.

As questões 4, 5 e 6 são as que apresentam diferenças relevantes em suas respostas quando comparadas ao grupo completo de alunos. Em primeiro lugar, na questão 4 (Figura 11), nota-se um maior ceticismo por parte dos alunos de que uma ferramenta computacional para o auxílio na mediação do erro seria relevante. Embora a maioria tenha se respondido que tal ferramenta seria muito importante, mais de 40% dos alunos responderam com valores 2 e 3. A razão dessa diferença pode estar, justamente, na mudança de percepção proporcionada pelo uso de uma ferramenta do tipo. Os alunos que já haviam tido contato como o FARMA-ALG podem ter vivenciado diferentes oportunidades em que a ferramenta se mostrou útil na análise de seus erros. Já os alunos sem acesso ao FARMA-ALG, por não terem tido acesso a outras ferramentas para mediação do erro podem não ter a concepção de como um sistema computacional poderia ajudá-los na análise de seus erros.

Na sua opinião, quão relevante seria uma ferramenta computacional para facilitar a análise de suas respostas?

Figura 11: Sumário das respostas para a quarta pergunta do questionário para alunos sobre mediação do erro (alunos sem acesso ao FARMA-ALG).

Os resultados da quinta questão (Figura 12) mostram que houve um deslocamento das respostas para os valores medianos. Ao contrário das respostas apresentadas por alunos com contato com o FARMA-ALG, as quais se concentram em entre os valores 3, 4 e 5, as respostas de alunos sem acesso à ferramenta se posicionam em sua maioria sobre o valor 3. Ou seja, esse segundo grupo de alunos percebe com menor frequência a mediação do erro por seus professores. Mais uma vez, o uso da ferramenta FARMA-ALG pode ter contribuído para essa diferenciação.

Com que frequência seus professores costumam analisar respostas erradas?

Figura 12: Sumário das respostas para a quinta pergunta do questionário para alunos sobre mediação do erro (alunos sem acesso ao FARMA-ALG).

Ao utilizar o FARMA-ALG, alunos notam uma maior participação do professor (no caso desse experimento, do monitor da disciplina) na mediação do erro através das funcionalidades da

ferramenta. É possível que o acesso ao instrumento de facilitação de mediação tenha realmente impulsionado a percepção da atividade docente no sentido de superação das dificuldades impostas à mediação do erro. Sem dúvidas, os dados coletados ainda são escassos para suportar afirmações desse tipo, porém, não se podem negar indícios de que a ferramenta apresentada por essa tese pode, sim, mudar a concepção de professores e alunos sobre a mediação do erro. A diferença de respostas obtidas pelos dois grupos de alunos observados endossam essa hipótese, indicando que o grupo sem acesso à ferramenta percebe uma menor frequência de mediação do erro por seus professores.

As respostas à questão 6 (Figura 13), por sua vez, permitem uma análise semelhante. Enquanto o primeiro grupo considera que seus professores apresentam, em média, uma alta preocupação com o erro de seus alunos, o segundo grupo não é tão otimista e se concentra em valores mais medianos em sua resposta. Portanto, a mesma análise conferida a questão anterior, pode ser reproduzida a esta questão. O uso da ferramenta FARMA-ALG pode ter proporcionado um contato maior dos alunos com a mediação de seus erros, influenciando as respostas do questionário.

Na sua opinião, qual a importância que seus professores dão às respostas erradas de seus alunos?

Figura 13: Sumário das respostas para a sexta pergunta do questionário para alunos sobre mediação do erro (alunos sem acesso ao FARMA-ALG).

Em suma, os resultados obtidos através da aplicação desse questionário aos alunos permitiu a constatação de que, embora alunos considerem a mediação do erro um ponto importante de sua aprendizagem, sua realização ainda não é ideal. Em geral, alunos tem receio de manifestar suas dúvidas aos professores e quantidades significativas dos estudantes não percebem com otimismo nem a frequência da mediação recebida nem a importância dada por professores aos seus erros. É possível, ainda, constatar indícios de que a utilização de um software capaz de facilitar a tarefa de mediação do erro pode proporcionar mudanças nas respostas obtidas, em direção à promoção dessa mediação.

6 Conclusão

Neste estudo, foram expostas as principais dificuldades enfrentadas por professores e alunos no uso do erro como parte fundamental do processo de ensino e aprendizagem. Com base em estudos como de (Serconek, 2011), foi descrita a necessidade da mediação do erro na educação, bem como a superação da visão tradicional do erro. Evidenciou-se, a partir da revisão bibliográfica, que os trabalhos existentes na literatura não apresentam meios de professores e alunos manipularem

registros de erros. Em geral, os trabalhos apresentam apenas processos automáticos e análises estatísticas de erros sem a participação do professor. Também não demonstram qualquer análise das relações existentes entre diferentes registros de erros. Outro ponto observado foi a presença majoritária de pedagogias centradas no aluno e não no professor.

Para suprir tais carências na literatura e com o objetivo de instrumentalizar professores e alunos, foi proposto um arcabouço de sistema. Este arcabouço descreve um sistema para a manipulação de registros de respostas que promove a mediação do erro com participação efetiva do professor. A implementação e uma primeira aplicação do arcabouço para o ensino de programação de computadores, denominada FARMA-ALG, demonstrou contribuições relevantes para a mediação do erro no processo de ensino e aprendizagem. Além disso, apresentou-se elucidacões sobre as impressões da questão da mediação do erro para alunos que utilizaram e que não utilizaram a ferramenta. Os resultados descritos permitem concluir que, embora a mediação do erro seja um tema considerado importante para os alunos observados, a execução dessa mediação ainda é bastante limitada. Fato que demonstra um espaço para o desenvolvimento de pesquisas no tema abordado pelo presente artigo. Outro ponto salientado pela pesquisa é o indício de que o uso da ferramenta FARMA-ALG tenha produzido uma promoção e, em consequência, uma maior demanda por mediação dos erros por parte dos alunos durante suas atividades educativas.

Assim, de maneira direta, acredita-se que a presente pesquisa produza subsídios para a mediação do erro na educação e que promova, ainda, a superação da visão tradicional do erro. Ademais, este trabalho pode fomentar pesquisas sobre o uso do erro no processo de ensino e aprendizagem tanto na literatura de Informática Educacional quanto no campo pedagógico. A criação e disponibilização de um banco de dados rico (de respostas e categorizações) também são consideradas contribuições previstas para este trabalho.

Trabalhos futuros vislumbrados para esta pesquisa envolvem: novas aplicações da ferramenta FARMA-ALG em turmas de ensino de programação de computadores para sua validação e ajuste; e pesquisas nas áreas de Mineração de Dados Educacionais e de sistemas recomendadores para educação.

Agradecimentos

Agradecemos ao Programa de Pós-Graduação em Informática e ao Departamento de Informática da Universidade Federal do Paraná pelo apoio prestado para o desenvolvimento desta pesquisa.

Eu, Alexander Kutzke, agradeço em especial ao Professor. Alexandre Direne (in memoriam), fabuloso orientador e parceiro neste e em outros trabalhos, por toda dedicação e atenção com os quais sempre me orientou. Agradeço pelo privilégio de ter aprendido e convivido com esse excelente professor e formidável ser humano.

References

Aquino, J. G. (1997). *Erro e fracasso na escola: alternativas teóricas e práticas* (6th ed.).

- Summus. [GS SEARCH]
- De Campos, C. P., & Ferreira, C. E. (2004). Boca: um sistema de apoio a competições de programação. In *Workshop de educacao em computacao*. Anais do Congresso da SBC. [GS SEARCH]
- de Oliveira, M. K. (1997). Sobre diferenças individuais e diferenças culturais: o lugar da abordagem histórico-cultural. In *Erro e fracasso na escola: alternativas teóricas e práticas*. Summus. [GS SEARCH]
- Dyckhoff, A. L., Zielke, D., Chatti, M. A., & Schroeder, U. (2011). elat: An exploratory learning analytics tool for reflection and iterative improvement of technology enhanced learning. In *The 4th international conference on educational data mining (edm 2011)* (pp. 355–356). [GS SEARCH]
- Ferreira, B. d. J. P., & Duarte, N. (2012, 12). O lema aprender a aprender na literatura de informática educativa. *Educação e Sociedade*, 33, 1019 - 1035. doi: [10.1590/S0101-73302012000400006](https://doi.org/10.1590/S0101-73302012000400006) [GS SEARCH]
- Gaudencio, M., Wanderley, L. F., Lemos, F. W., de Araújo, E. C., Figueiredo, J. C., & Guerrero, D. D. (2013). Eu sei o que vocês fizeram (agora e) na aula passada: o tsvview no acompanhamento de exercícios de programação. In *Anais do simpósio brasileiro de informática na educação* (Vol. 24). doi: [10.5753/cbie.sbie.2013.204](https://doi.org/10.5753/cbie.sbie.2013.204) [GS SEARCH]
- Gogvadze, G., Sosnovsky, S. A., Isotani, S., & McLaren, B. M. (2011). Evaluating a bayesian student model of decimal misconceptions. In *The 4th international conference on educational data mining (edm 2011)* (pp. 301–306). [GS SEARCH]
- Johnson, W., & Soloway, E. (1985). Proust: Knowledge-based program understanding. *Software Engineering, IEEE Transactions on*, SE-11(3), 267-275. doi: [10.1109/TSE.1985.232210](https://doi.org/10.1109/TSE.1985.232210) [GS SEARCH]
- Kutzke, A. R., & Direne, A. (2015). Automatic recommendation of students' answers for error mediation. *Anais temporários do LACLO 2015*, 10(1), 276. [GS SEARCH]
- Kutzke, A. R., & Direne, A. (2016). Mediação do erro no ensino de programação de computadores: fundamentos e aplicação da ferramenta farma-alg. In *Anais dos workshops do congresso brasileiro de informática na educação* (Vol. 5, p. 1050). doi: [10.5753/cbie.wcbie.2](https://doi.org/10.5753/cbie.wcbie.2) [GS SEARCH]
- Leite, M. D., Pimentel, A. R., & Oliveira, F. D. (2011). Um estudo sobre classificação de erros: uma proposta aplicada a objetos de aprendizagem. In *Anais do simpósio brasileiro de informática na educação* (Vol. 1). doi: [10.5753/cbie.sbie.2011.%25p](https://doi.org/10.5753/cbie.sbie.2011.%25p) [GS SEARCH]
- Leite, M. D., Pimentel, A. R., & Pietruchinski, M. H. (2012). Remediação de erros baseada em múltiplas representações externas e classificação de erros aplicada a objetos de aprendizagem inteligentes. In *Anais do simpósio brasileiro de informática na educação* (Vol. 23). doi: [10.5753/cbie.sbie.2012.%25p](https://doi.org/10.5753/cbie.sbie.2012.%25p) [GS SEARCH]
- Marczal, D., Direne, A., Pimentel, A., & Krynski, E. M. (2015). Farma: Uma ferramenta de autoria para objetos de aprendizagem de conceitos matemáticos. In *Anais dos workshops do congresso brasileiro de informática na educação* (Vol. 4, p. 23). doi: [10.5753/cbie.wcbie.2015.23](https://doi.org/10.5753/cbie.wcbie.2015.23) [GS SEARCH]
- Martins, L. M. (2013). *O desenvolvimento do psiquismo e a educação escolar: contribuições à luz da psicologia histórico-cultural e da pedagogia histórico-crítica* (1st ed.). Campinas, SP: Autores Associados. [GS SEARCH]
- Nwaigwe, A., & Koedinger, K. R. (2011). The simple location heuristic is better at predicting

- students' changes in error rate over time compared to the simple temporal heuristic. In M. Pechenizkiy, T. Calders, C. Conati, S. Ventura, C. Romero, & J. C. Stamper (Eds.), *The 4th international conference on educational data mining (edm 2011)* (p. 71-80). [[GS SEARCH](#)]
- Patto, M. H. S. (1996). *A produção do fracasso escolar: histórias de submissão e rebeldia* (1st ed.). São Paulo: T. A. Quiroz. [[GS SEARCH](#)]
- Peña-Ayala, A. (2014). Educational data mining: A survey and a data mining-based analysis of recent works. *Expert Systems with Applications*, 41(4, Part 1), 1432 - 1462. doi: [10.1016/j.eswa.2013.08.042](https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.08.042) [[GS SEARCH](#)]
- Pinto, N. B. (2000). *O erro como estratégia didática: estudo do erro no ensino da matemática elementar*. Papirus Editora. [[GS SEARCH](#)]
- Rau, M., & Scheines, R. (2012). Searching for variables and models to investigate mediators of learning from multiple representations. In *The 5th international conference on educational data mining (edm 2012)* (pp. 110–117). [[GS SEARCH](#)]
- Saviani, D. (2012). *Pedagogia histórico-crítica. primeiras aproximações* (11th ed.). Campinas, SP: Autores Associados. [[GS SEARCH](#)]
- Serconek, G. C. (2006). *O conceito e a abordagem do erro na prática docente nas séries iniciais do ensino fundamental*. Mestrado, Universidade Estadual de Maringá - Programa de Pós-Graduação em Educação, Maringá, PR, Brasil.
- Serconek, G. C. (2011, Abril). As perspectivas de conhecimento e o enfoque histórico-cultural de mediação do erro. *Anais do V Encontro Brasileiro de Educação e Marxismo: Marxismo, Educação e Emancipação Humana*. [[GS SEARCH](#)]
- Tuleski, S. C., & Eidt, N. M. (2007). Repensando os distúrbios de aprendizagem a partir da psicologia histórico-cultural. *Psicologia em estudo*, 12(3), 531–540. doi: [10.1590/S1413-73722007000300010](https://doi.org/10.1590/S1413-73722007000300010) [[GS SEARCH](#)]