

Elementar: Aplicando Gamificação ao Processo de Ensino-Aprendizagem da Lógica Formal

Jefferson O. Andrade*, Marta Canese†

**Coordenadoria de Informática, Campus Serra, Instituto Federal do Espírito Santo
Rodovia ES-010 – Km 6,5 – Manguinhos. Serra – ES – 29173-087 – Brasil*

†*Facultad de Postgrado, Universidad del Norte
Brasil 184 e/Mcal. López y José Berges. Asunción – Paraguay*

Abstract. Formal logic plays a fundamental role in computer science. It is necessary to introduce the fundamentals of this discipline so that these students are able to achieve mastery across the range of its applications in computer science. Unfortunately, it is observed that the efficiency of the learning process the Bachelor in Information Systems program, has proved to be less than ideal. In this work we propose that it is possible to increase the effectiveness of the learning process through the use of proof assistants as a teaching tool, but with the introduction of game-like elements. This approach has been known as *gamification*. We present an overview of the theoretical basis that support the use of *gamification*, we then proceed to describe a proposal of a gamified system for learning formal logic, as well as a prototype implementation of this proposed system. We conclude this paper presenting some results of an experiment conducted by adopting our prototype as a learning tools during one academic semester. We then compare these results with the previous semester and analyze the possibilities of the use o gamification in an educational setting.

Keywords: mathematical logic; proof assistants; education science; higher education; gamification.

PACS: 01.50H – Computers in education.

INTRODUÇÃO

A lógica formal [1] tem sido chamada de “*o cálculo da informática*”. A justificativa é que a lógica desempenha um papel tão fundamental na ciência da computação quanto o cálculo diferencial e integral desempenha nas engenharias tradicionais. Assim, o principal objetivo de se ensinar lógica formal a estudantes de computação e informática é introduzir os conceitos fundamentais desta disciplina para que estes estudantes tenham condições de atingir maestria em toda a gama de aplicações da lógica em computação e, desta forma, atingir seu potencial total enquanto profissionais da área. Infelizmente, observa-se que a eficiência do processo de ensino-aprendizagem da lógica matemática nos cursos de computação, de modo geral, tem se mostrado abaixo do ideal, fazendo com que haja um grande número de reprovações na disciplina. Esta observação está de acordo com outros autores, como notado por Setti [2], por exemplo.

Na disciplina de Lógica no curso de Bacharelado em Sistemas de Informação (BSI) do campus Serra do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (IFES), o panorama não é diferente e, até recentemente, verificava-se um grande número de alunos desistentes e de reprovações na disciplina. Evidentemente, esta situação era indesejável. Visando aumentar a efetividade do processo de ensino-aprendizagem da lógica formal, foi formulada uma proposta de intervenção didática através do desenvolvimento e utilização de um software educacional que mesclasse dois conceitos distintos:

- O software educacional deveria implementar um *assistente de provas* para uso educacional. Boa parte da dificuldade encontrada pelos alunos na aprendizagem da lógica formal se encontra na construção de provas formais. O uso de assistentes de prova tem se mostrado um útil para ultrapassar esta dificuldade [3, 4]. Um assistente de provas para uso educacional, chamado \forall DeL, foi desenvolvido pelo primeiro autor deste artigo, entretanto o sistema \forall DeL, não incorpora o segundo conceito explorado por este trabalho.
- O software educacional deveria empregar elementos tipicamente associados aos *videogames*, porém em um contexto diferente do contexto do mero entretenimento, ou seja, propomos desenvolver um software educacional que atuasse como apoio pedagógico à aprendizagem da lógica formal, mas que empregasse elementos típicos de jogos em um contexto extra-jogos. Esta abordagem que vem sendo chamada de “*gamificação*” [5].

Assim, para concretizar a intervenção pedagógica proposta, foi realizado um estudo que fundamentou o projeto de

um sistema com as características desejadas, este sistema foi denominado \exists elementar, e um protótipo foi implementado e posto em uso. O sistema \exists elementar, incorpora o *backend* do sistema \forall DeL, como assistente de provas. Entretanto, neste artigo exploraremos principalmente as características associadas com o uso de gamificação.

GAMIFICAÇÃO

Nos últimos anos, a ideia de usar elementos de design de jogos, fora dos contextos de jogos propriamente ditos, para motivar e aumentar os níveis de participação e os níveis de retenção, ou fidelidade, dos usuários tem ganhado momento, principalmente no mercado de mídias digitais [5]. Esta estratégia tem sido chamada de “*gamificação*” e tem gerado intensos debates, bem como um grande número de aplicações, principalmente na área de sistemas para internet. Segundo MacMillan [6], jogos e elementos semelhantes tem “invadido” o mundo real numa escala sem precedentes. A gamificação tem sido utilizada em domínios tão diversos quanto marketing, política, saúde, condicionamento físico e educação. Este intenso uso de gamificação tem, recentemente, despertado o interesse de pesquisadores [5, 7, 8, 9].

Colocado de modo simples, gamificação é a aplicação de conceitos derivados de jogos na realização de atividades “sérias”. A ideia geral é que a tarefa séria seria beneficiada pelos mesmos mecanismos que os jogos utilizam para alcançar os seus altos índices de fidelidade e engajamento e a sua enorme capacidade de reter a atenção dos usuários. Segundo Werbach and Hunter [10], o termo “*gamificação*” se originou na indústria de mídia digital em 2003, embora, tenha ganhado popularidade apenas à partir de 2010. Na área de educação o conceito de gamificação já recebeu atenção de alguns estudos como, por exemplo, os de Muntean [11] e Lee and Hammer [9].

A gamificação tem origem em uma rica e prolífica literatura e prática na área de jogos, com conceitos e tendências interagindo e competindo entre si. Para posicionar e desenvolver gamificação como uma área própria devemos delinear onde a gamificação, tal como entendemos o termo, difere dos demais conceitos desta área. Assim, propomos que gamificação abrange um conjunto de fenômenos previamente não englobados por outros conceitos da área de jogos, que seria o complexo de fenômenos demarcados pelas seguintes características:

- *jogabilidade* — a qualidade experimental e comportamental;
- *interação jogável* — os artefatos que tornam possível tal qualidade;
- *design jogável* — a concepção voltada para a jogabilidade, tipicamente através do uso de elementos de design de jogos.

Deste modo, de acordo com Deterding et al. [5], apresentamos a seguinte definição para gamificação:

Gamificação é o uso de elementos de design de jogos em contextos extra-jogos.

A seguir, examinaremos melhor os conceitos de *jogos*, *elementos de jogos*, *design de jogos* e *contextos extra-jogos*, que compõem a definição dada acima.

Jogos — Primeiramente, devemos observar que gamificação está relacionada com jogos e não com *brincadeiras*. Esta distinção entre jogos e brincadeiras é geralmente associada ao conceito de *paídia* e *ludus* como pólos extremos do contínuo das atividades lúdicas apresentado por Caillois [12]. Enquanto *paídia* representa as atividades de forma livre, espontâneas, expressivas e improvisada, *ludus* captura o jogar estruturado por regras e pelas contendidas competitivas direcionadas a objetivos pré-definidos. Desta forma, jogos, em contraste com brincadeiras, são caracterizados por sistemas de regras explícitos e pela competição ou o conflito entre os jogadores dentro destes sistemas em direção a objetivos específicos [12, 13].

Elementos de Jogos — O que distingue os jogos sérios das aplicações gamificadas é o fato de que, enquanto os jogos sérios fazem uso de jogos completos para propósitos que não são de entretenimento, as aplicações gamificadas meramente incorporam elementos de jogos. Evidentemente, a distinção entre o que é um *jogo completo* e o que é um *artefato que incorpora elementos de jogos* é bastante tênue e nebulosa. Principalmente pelo fato de que esta fronteira é empírica, subjetiva e social.

Design de Jogos — Aplicações gamificadas não são os únicos artefatos onde elementos de jogos foram utilizados com outros propósitos que não os jogos especificamente. Entretanto, com o propósito de obter maior clareza tanto terminológica quanto conceitual, é mais produtivo reservar o termo gamificação para o uso de *design* de jogos e não de tecnologias baseadas em jogos ou práticas oriundas de desenvolvimentos de jogos, tais como jogos sérios. Deterding et al. [5] propõem que tais elementos de design de jogos podem ser identificados em níveis variados de abstração. A Tabela 1 resume as descrições dos diferentes níveis dos elementos de design de jogos.

TABELA 1. Níveis de elementos de design de jogos.

Nível	Descrição	Exemplo
Padrões de design de interface de jogos	Componentes de design de interação e design de soluções comuns e bem sucedidos para um problema ou contexto conhecido, incluindo implementações de protótipos	Distintivos, rankings, níveis
Mecânica e padrões de design de jogos	Partes comumente recorrentes do design de um jogo que dizem respeito à jogabilidade	Restrições de tempo; restrições de recursos; reviravoltas
Heurísticas e princípios de design de jogos	Diretrizes de avaliação para abordar um problema de design ou analisar uma dada solução de design	Jogos duradouros, objetivos claros, variedade de estilos de jogos
Modelos de jogos	Modelos conceituais dos componentes dos jogos ou experiência de jogo	Desafios, fantasia, curiosidade; Átomos de design de jogos
Métodos de design de jogos	Práticas e processos específicos de design de jogos	<i>Playtesting, playcentric design</i> , design de jogos voltado a valores

Fonte: Adaptada de Deterding et al. [5, Table 1].

Contextos Extra-Jogos — Assim como os jogos sérios, a gamificação é utilizada propósitos outros que não sejam o seu uso normal, i.e., o entretenimento. Aplicações gamificadas são aquelas que não tem como propósito o entretenimento, mas que utilizam elementos de jogos para proporcionar aos usuários uma experiência de jogabilidade.

Petrović and Ivetić [14] definem uma taxonomia para gamificação fundamentada nos trabalhos de Fogg [15] sobre tecnologia persuasiva e de Bartle sobre psicologia e classificação de arquétipos de jogadores [16]. Segundo os próprios autores, a melhor forma de descrever a taxonomia é através da sua lista de seis principais métricas de satisfação: *feedback*, social, competição, progressão, mecânica e contexto; ordenadas da mais fácil de se incorporar a um sistema gamificada para a mais difícil:

Feedback se refere à informação, retornada do sistema para o usuário, a respeito das atividades desempenhadas pelo usuário. Além do fato de que esta é uma boa prática de interação humano computador (IHC) de modo geral, esta é também uma importante métrica de satisfação e engajamento em um sistema gamificado.

Social é uma medida que representa dois fenômenos distintos. O primeiro deles, a *socialização*, representa a capacidade do sistema de viabilizar certas interações entre o usuário e o próprio sistema. Este aspecto da métrica corresponde à necessidade do usuário de interagir socialmente e o quanto esta necessidade é satisfeita pelo sistema. O segundo fenômeno que compõe a métrica social é a *obrigação*. A obrigação indica a capacidade do sistema e das conexões sociais criadas pelo sistema de aceitarem o investimento emocional do usuário.

Competição é uma métrica de satisfação que depende fortemente do conceito de *feedback* e que compreende dois fenômenos relacionados, porém distintos. O primeiro é a *autocompetição*, que significa que o sistema deve manter registro dos dados de performance do usuário e implementar estratégias para relatar estes dados de modo a incentivar o usuário a melhorá-los. A segunda forma de competição é de cunho essencialmente social e representa o esforço do usuário de ultrapassar os resultados atingidos por outros usuários.

Progressão é a capacidade do sistema de oferecer ao usuário a ilusão de *persistência*, o que significa que o sistema mantém registro de todas as conquistas e realizações do usuário de modo que estas informações estejam sempre disponíveis. Esta característica é bastante comum nos jogos atuais através de *rankings*, *pontuações* e perfis de usuários com seus níveis e suas relações de conquistas atualizadas e, possivelmente, outras estatísticas dependendo do tipo e natureza do jogo em questão [16].

Mecânica é o critério de satisfação onde a gamificação assume os tons de um jogos. A mecânica representa o prazer e a satisfação que o usuário obtém ao utilizar o sistema. Neste critério toda a satisfação vem diretamente da utilização e manipulação do sistema, o que é um atributo característico dos jogos em geral e mais acentuadamente dos jogos eletrônicos, e é mais comumente chamada de *jogabilidade*.

Contexto é o critério de satisfação mais difícil de ser gamificado. Este conceito mede o interesse que o usuário pode encontrar sobre o contexto de suas ações no sistema. Segundo Petrović and Ivetić [14], os primeiros jogos de

Lista de Problemas

#	Tipo	Argumento	Criado em	Resolvido por		
5	Propositional	$A \vdash A \vee B$	2013/03/20	2	Provar	Editar
6	Propositional	$A; B \vdash A \wedge B$	2013/03/20	1	Provar	Editar
7	Propositional	$B \vdash A \vee B$	2013/03/20	0	Provar	Editar
8	Propositional	$(A \wedge B) \rightarrow C \vdash A \rightarrow (B \rightarrow C)$	2013/03/20	1	Provar	Editar
9	Propositional	$\neg A \vee B \vdash A \rightarrow B$	2013/03/20	1	Provar	Editar
10	Propositional	$A \rightarrow B; B \rightarrow C \vdash A \rightarrow C$	2013/03/21	2	Provar	Editar
11	Propositional	$A \vee B; A \rightarrow C; B \rightarrow C \vdash C$	2013/03/27	1	Provar	Editar
12	Propositional	$A \vee B; \neg A \vdash B$	2013/03/27	1	Provar	Editar

<< | < | 1 | > | >> | Displaying 1-8 of 8

Fonte: Sistema \exists lementar.

FIGURA 1. Página de listagem de problemas do protótipo do \exists lementar em uso por um usuário administrador.

edutainment cometeram o equívoco de tentar alterar o contexto e criar histórias que, uma vez que precisavam justificar os elementos educacionais que eram o propósito do jogo, falhavam em cativar o interesse dos jogadores.

Estas métricas de satisfação permitem avaliar, ainda que apenas qualitativamente, os recursos oferecidos por sistemas gamificados. Através da análise de vários sistemas gamificados, segundo estas métricas, e das necessidades detectadas em nossa práxis docente, formulamos uma proposta para um sistema de aprendizagem de lógica formal gamificado. Este sistema foi chamado de \exists lementar e é descrito na próxima seção.

O SISTEMA \exists LEMENTAR

Para que pudessemos testar a aplicabilidade de um sistema gamificado de aprendizagem de lógica formal foi implementado um protótipo do sistema \exists lementar. Neste primeiro protótipo, alguns dos requisitos identificados para um sistema ideal não foram implementados. Entretanto, apesar destas ausências, foi criado um sistema funcional que foi submetido à experimentação e operou a contento. O restante desta seção descreve o protótipo implementado.

O sistema \exists lementar foi implementado como uma aplicação web. Na página inicial do protótipo dos sistema \exists lementar, temos um *layout* minimalista onde é possível ver uma mensagem de boas-vindas na região central da página e um menu com algumas operações básicas na região esquerda, chamada de área de navegação. Uma vez que o usuário faça a autenticação, ou “log-in”, para ter acesso ao sistema, as opções disponíveis no menu da área de navegação podem se alterar, dependendo do status do usuário. Usuários administradores terão à sua disposição, opções de ações diferentes daquelas disponíveis aos usuários comuns.

A Figura 1 apresenta um excerto da página de listagem de problemas implementada no protótipo do sistema \exists lementar conforme exibida para um usuário com perfil de administrador. Os problemas são exibidos de modo “paginado”. Nesta página o *link* ‘Provar’ leva à página que dá acesso ao assistente de provas propriamente dito. Nesta página será possível ao estudante tentar solucionar o problema. Se o usuário possuir status de administrador do sistema, o *link* ‘Editar’ permite alterar as informações relacionadas ao problema, incluindo o enunciado formal do problema (argumento).

A página de progresso tem por objetivo mostrar graficamente as conquistas do estudante. Nesta página são exibidos os problemas já resolvidos pelo estudante assim como os troféus já conquistados. A Figura 2 mostra a página de progresso de um usuário. Na primeira parte da página, sob o título ‘Problemas Resolvidos’ é mostrada uma tabela com todos os problemas disponíveis no sistema; os problema que o usuário resolveu estão destacados (problemas de 1 a 10 neste exemplo) e é possível, através de um *link*, ter acesso direto ao enunciado dos problemas. Na segunda parte da página de progresso, sob o título ‘Emblemas Conquistados’ aparecem os distintivos que o usuário conquistou até o

Progresso

Problemas Resolvidos

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42			

Emblemas Conquistados



Newbie



Autobiógrafo



10 in a row!



1º Lugar!

Fonte: Sistema Elementar.

FIGURA 2. Página de progresso exibida pelo protótipo do Elementar.

Dedução Natural

Problema: $(A \wedge B) \rightarrow C \vdash A \rightarrow (B \rightarrow C)$

	Regras de Dedução
1. $(A \wedge B) \rightarrow C$	hip
2. A	sup A
3. B	sup B
4. $A \wedge B$	cnj 2 3
5. C	mp 1 4
6. $B \rightarrow C$	ii [3]
7. $A \rightarrow (B \rightarrow C)$	ii [2]

Q.E.D

Fonte: Sistema Elementar.

FIGURA 3. Página do assistente de provas do protótipo do Elementar.

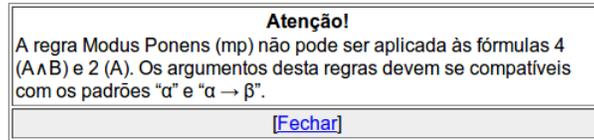
momento. Os distintivos são mostrados através de sua representação gráfica e do nome do distintivo.

A página de provas é a interface entre os estudantes e o assistente de provas de fato, ou seja, esta página encapsula as funcionalidades do sistema \forall DeL e permite aos estudantes acessarem estas funcionalidades através da aplicação web do sistema Elementar. Espera-se que esta página seja o recurso do protótipo que os estudantes mais acessem e gastem mais tempo utilizando.

A Figura 3 apresenta o assistente de provas imediatamente após a prova ter sido concluída com sucesso. Pode-se verificar a presença de diversas fórmulas geradas pela aplicação de regras de dedução, associadas a comandos emitidos pelo usuário. Pode-se verificar também, que nesta prova em particular utilizou-se duas sub-provas, que estão corretamente representadas graficamente pelo uso de retângulos englobando os diversos níveis de provas. O término com sucesso da prova é sinalizado pelo uso do marcador “Q.E.D”.¹

No topo da página de prova é apresentado o enunciado formal do problema que se pretende resolver, abaixo do título

¹ Do latim *Quod Erat Demonstrandum*, “como se queria demonstrar”.



Fonte: Sistema \exists elementar.

FIGURA 4. Mensagem de erro emitida pelo sistema \exists elementar em resposta a um comando impróprio do usuário.

‘Dedução Natural’ e à frente do rótulo ‘Problema:’. Ao ser ativada, a página de prova inicia compulsoriamente uma nova prova introduzindo-se as hipóteses do problema como as primeiras fórmulas do sequente. À partir deste ponto, o usuário deve emitir comandos que instruem o assistente de provas sobre quais regras devem ser aplicadas, e quais os argumentos que estas regras receberão. Por exemplo, para iniciar uma nova sub-prova à partir da suposição de que a fórmula A é verdadeira, o usuário deve emitir o comando “ $\text{sup } A$ ”. Para aplicar a regra de *modus ponens*, tendo as fórmulas de índice 1 e 4 como argumento, o usuário deve emitir o comando “ $\text{mp } 1 \ 4$ ”.

Caso ocorra algum erro na execução do comando, o sistema emitirá uma mensagem de erro esclarecendo o problema e tentando indicar como o mesmo pode ser solucionado. A Figura 4 mostra uma mensagem de erro emitida em resposta à uma tentativa do usuário de aplicar a regra de *modus ponens* às fórmulas 2 e 4 do exemplo mostrado na Figura 3.

Equivalence Rules

Abrev.	Nome	Definição
dn	DoubleNegation	$\neg\neg\alpha \equiv \alpha$
bicond	Biconditional	$\alpha \leftrightarrow \beta \equiv \alpha \rightarrow \beta \wedge \beta \rightarrow \alpha$
cmtc	CommutativityCnj	$\alpha \wedge \beta \equiv \beta \wedge \alpha$
cmtd	CommutativityDsj	$\alpha \vee \beta \equiv \beta \vee \alpha$
assc	AssociativityCnj	$\alpha \vee \beta \vee \gamma \equiv \alpha \vee \beta \vee \gamma$
assd	AssociativityDsj	$\alpha \wedge \beta \wedge \gamma \equiv \alpha \wedge \beta \wedge \gamma$
dst1	Distributivity1	$\alpha \wedge \beta \vee \gamma \equiv (\alpha \wedge \beta) \vee (\alpha \wedge \gamma)$
dst2	Distributivity2	$\alpha \vee (\beta \wedge \gamma) \equiv \alpha \vee \beta \wedge \alpha \vee \gamma$

FIGURA 5. Excertos da página de descrição das Regras de Dedução exibida pelo \exists elementar.

Caso o usuário queira relembrar quais são as regras de dedução disponíveis no sistema, o link “Regras de Dedução” exibe uma página com a descrição de todas as regras de dedução conhecidas do sistema. Uma vez que há regras de dedução de diferentes naturezas, a página de informações agrupa as regras em duas categorias: regras de equivalência e regras de inferência.

A Figura 5 mostra um excerto da página de informações sobre regras. Nesta figura temos um excerto da listagem de regras de equivalência, porém o sistema também gera a listagem das regras de inferências. Ambas as listagens são geradas automaticamente à partir das definições das regras de dedução, de modo que, se uma nova regra de dedução for inserida no sistema, não será necessário alterar a página de informações.

O sistema \exists elementar permite a definição das regras de dedução através de uma “linguagem específica de domínio” (*Domain Specific Language – DSL*) desenvolvida especialmente para esta finalidade como parte do sistema \forall DeL. A linguagem desenvolvida para o \forall DeL permite tanto a definição de regras de equivalência quanto a definição de regras de inferência. A Figura 6 mostra dois exemplos de definição de regras de dedução escrito na DSL do sistema \forall DeL. O exemplo da Figura 6(a) ilustra a definição de uma regra de equivalência, enquanto a Figura 6(b) apresenta a definição de uma regra de inferência. No caso das regras de equivalência, as duas meta-fórmulas equivalentes são definidas e o símbolo “====” é utilizado para indicar a equivalência entre as meta-fórmulas.

O protótipo desenvolvido para o sistema \exists elementar teve como objetivo principal a experimentação com os conceitos de gamificação. Neste sentido, foram feitas escolhas com relação a que requisitos poderiam ser implementados, dadas as restrições de pessoal e tempo para a implementação do protótipo. Ao todo, ao longo de quase 12 meses de trabalho foram escritas mais de 10.500 linhas de código para o sistema \forall DeL, e mais de 3.500 linhas de código para o sistema \exists elementar. A seguir são apresentadas algumas considerações sobre os requisitos implementados pelo

```

equivalence rule DeMorgan1 {
  ~(@alpha & @beta) === ~@alpha | ~@beta
}

```

(a) Exemplo de regra de equivalência.

```

inference rule ModusPonens {
  premises {
    P1 is proofstep matches @alpha -> @beta;
    P2 is proofstep matches @alpha;
  }
  conclusion {
    add @beta;
  }
}

```

(b) Exemplo de regra de inferência.

FIGURA 6. Exemplo de definição de regra de dedução no sistema \forall DeL.

protótipo, organizados de acordo com as métricas de satisfação vistas anteriormente:

- Requisitos de *feedback*.
 - “Emitir feedback imediatamente após qualquer erro do estudante.” — A apresentação gráfica poderia ser melhorada, mas a forma como foi implementado o protótipo atende ao objetivo proposto.
 - “Apresentar dicas sobre o uso de regras de dedução.” — Foi implementada uma página de informações sobre as regras de dedução que serve de apoio ao estudante durante a resolução dos exercícios.
 - “Usar revelação progressiva.” — O uso de revelação progressiva para apresentação de informações ao usuário está presente no protótipo, embora seu uso possa ser ampliado em futuras versões do sistema.
- Requisitos sociais.
 - “Criação de contas e perfis de usuários.” — O conjunto de informações registradas atualmente já são suficientes para atender aos propósitos deste requisito, embora este conjunto possa ser ampliado em futuras versões do sistema.
- Requisitos de competição.
 - “Implementar um sistema de pontuação.” — É possível contestar a forma de pontuação utilizada (um ponto por problema resolvido), porém não foram encontradas referências teóricas que indicassem qualquer vantagem de um sistema de pontuação específico sobre os demais. Portanto qualquer conjectura de que este ou aquele sistema de pontuação seria melhor deverá ser testada experimentalmente no futuro.
 - “Implementar um sistema de ranking geral.” — O sistema de *ranking* baseado na pontuação está disponível na página de estatísticas para os 25 primeiros colocados.
 - “Prover uma coleção de exercícios estilo ‘desafio’.” — Há uma coleção de problemas disponíveis para os usuários e o sistema inclui mecanismos para que novos problemas sejam incluídos, o que garante o caráter dinâmico do sistema e também garante que sempre haverá novos desafios a serem conquistados pelos usuários.
 - “Implementar um sistema de premiação por distintivos.” — Foram criados diversos distintivos que podem ser conquistados pelos usuários ao realizarem ações específicas. Além disso, o sistema permite que novos distintivos sejam criados e cadastrados sem a necessidade de alterar a base do sistema, o que permite que sempre haja novos distintivos a conquistar.
- Requisitos de progressão.
 - Nenhum requisito de progressão foi implementado para esta versão do protótipo.
- Requisitos de Mecânica.
 - “Permitir construção de provas para lógica proposicional.” — O sistema \exists elementar utiliza o assistente de provas \forall DeL como “motor” de provas para lógica proposicional, o que garante a implementação deste requisito.
 - “Permitir construção de provas para lógica de predicados.” — Assim como no caso acima, o sistema \exists elementar utiliza o assistente de provas \forall DeL como “motor” de provas para lógica de predicados, o que garante a implementação deste requisito.
 - “Utilizar uma notação próxima daquela usada ‘em papel’.” — A sintaxe de comandos do sistema \forall DeL, e portanto também a do sistema \exists elementar, foi especificamente projetada para se assemelhar à forma como os alunos escrevem as provas de dedução natural do sistema Fitch em papel.
 - “Permitir a criação interativa de provas.” — Assim como o sistema \forall DeL, o sistema \exists elementar foi concebido desde sua origem para ser utilizado de modo interativo, processando um comando de cada vez e exibindo

imediatamente o resultado aos usuários. Não há nem sequer a possibilidade de processamento de comandos em lote.

- “Permitir criação de regras de dedução adicionais.” — O sistema \forall DeL, e portanto também o sistema \exists elementar, foi criado para poder “ler” ou “aprender” as regras de dedução que serão utilizadas para a execução das provas. Não existe, do ponto de vista do assistente de provas, diferença entre regras de dedução básicas ou adicionais; todas as regras de dedução são tratadas de modo ortogonal pelo sistema.
- Requisitos de contexto.
 - Nenhum requisito de contexto foi implementado para esta versão do protótipo.
- Outros requisitos.
 - “Registrar as soluções construídas pelos alunos.” — As soluções dadas pelos alunos aos problemas propostos são armazenadas no banco de dados criado pelo sistema \exists elementar e podem ser consultadas posteriormente por usuários que tenham acesso direto ao banco de dados.
 - “Implementar uma interface web para o uso do sistema.” — Toda a interface com o usuário do sistema \exists elementar foi implementada como uma aplicação web.
 - “Oferecer uma interface adequada a dispositivos móveis.” — A interface web do sistema \exists elementar foi construída para poder ser utilizada mesmo em dispositivos com telas relativamente reduzidas e utiliza apenas tecnologias web abertas e padronizadas, o que permite sua utilização em uma ampla gama de dispositivos móveis.
 - “Permitir acompanhamento do progresso dos alunos pelo professor.” — O professor pode verificar o progresso dos alunos através de consultas ao banco de dados mantido pela aplicação.

EXPERIMENTO E RESULTADOS

Foi feito um experimento com o uso do protótipo do sistema \exists elementar em uma turma da disciplina de Lógica do curso de Bacharelado em Sistemas de Informação do campus Serra do Instituto Federal do Espírito Santo (IFES), no período 2012-2. O experimento em questão se constituiu em introduzir o uso de gamificação, com o apoio do protótipo do sistema \exists elementar, na condução de uma instância da disciplina de Lógica no período 2012-2. Este período teve início em novembro de 2012 e término abril de 2013, com um período de recesso de 21 dias no mês de janeiro de 2013.²

O protótipo do sistema \exists elementar atingiu o estágio em que pôde ser utilizado pelos alunos no início de março de 2013, ou seja, aproximadamente na metade do período letivo de 2012/2. A partir daí, o sistema foi disponibilizado para uso pela comunidade interna do Campus Serra do IFES.

Para a análise quantitativa da efetividade da introdução de gamificação no processo de ensino-aprendizagem da lógica matemática foram levantados os seguintes indicadores:

- Índice de desistência — percentual de alunos que ficaram reprovados por falta, i.e., que tiveram mais de 75% de faltas ao longo do período.
- Índice de reprovações por falta — percentual de alunos que tiveram entre 25% e 75% de faltas ao longo do período.
- Índice de aprovações — percentual de alunos aprovados na etapa principal, ou seja, sem a necessidade de realização de uma prova final.
- Médias de Notas — médias das notas obtidas pelos alunos na etapa principal, ou seja, antes da realização da Prova Final.

Todos os indicadores são apresentados para os períodos letivos de 2010-1 à 2012-2. Estes períodos foram selecionados por corresponderem ao período em que o primeiro autor deste artigo atuou como professor da disciplina. A Tabela 2 apresenta um resumo dos dados coletados ao longo destes 6 períodos letivos. Abaixo explica-se o significado de cada coluna desta tabela:

Alunos – apresenta o número de alunos regularmente matriculados na disciplina.

² Nota-se que foi um período atípico, devido à adequação do calendário acadêmico a duas greves prolongadas ocorridas nos anos de 2011 e 2012 na maioria das instituições federais de ensino superior do Brasil, incluindo o IFES.

TABELA 2. Resumo dos indicadores referentes à disciplina de Lógica de 2010/1 a 2012/2.

Período	Alunos	% Concl.	% Desist.	% Rep.F.	% Aprov.	E (NE1)	σ (NE1)
2010/1	54	66,67%	27,78%	5,56%	25,64%	41,6	24,2
2010/2	57	70,18%	8,77%	21,05%	36,54%	44,0	25,4
2011/1	56	53,57%	0,00%	46,43%	33,93%	34,3	28,3
2011/2	26	34,62%	0,00%	65,38%	26,92%	22,8	29,9
2012/1	53	41,51%	33,96%	24,53%	8,57%	34,3	22,4
2012/2	54	62,96%	14,81%	22,22%	47,83%	43,4	29,1

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do registro acadêmico do IFES, campus Serra.

% Concl. – apresenta o percentual de alunos concluintes.

% Desist. – apresenta o percentual de alunos desistentes.

% Rep.F. – apresenta o percentual de alunos reprovados por falta.

% Aprov. – apresenta o percentual de alunos aprovados na *primeira etapa*.³

E (NE1) – apresenta a média geral das notas dos alunos na primeira etapa.

σ (NE1) – apresenta o desvio padrão geral das notas dos alunos na primeira etapa.

Como pode ser observado na Tabela 2, o número de alunos matriculados na disciplina de Lógica gira em torno de 55 por período letivo, tendo atingido um valor máximo de 57 em 2010/2. O acentuado decréscimo observado no período 2011/2 se deveu a uma contingência observada pela Coordenadoria de Informática do campus Serra do IFES. Neste semestre não houve ingresso de turma nova no curso. Deste modo, cursaram a disciplina neste período apenas alunos repetentes ou alunos que optaram por não cursar a disciplina quando ingressaram no curso.

Para efeitos da análise do comportamento dos alunos com relação à conclusão da disciplina de Lógica, classificou-se os dados relativos à frequência dos alunos em três grupos:

Concluinte. Alunos que frequentaram ao menos 75% das aulas da disciplina. Esta é uma exigência legal para que o aluno de um curso presencial seja considerado aprovado.

Reprovado por Faltas. Classificou-se nesta categoria os alunos que frequentaram ao menos 25%, porém menos do que 75% das aulas da disciplina.

Desistente. Classificou-se nesta categoria os alunos que compareceram a menos do que 25% das aulas da disciplina.

Também é possível observar na Tabela 2 os percentuais de alunos concluintes, desistentes e reprovados por falta na disciplina de Lógica em cada um dos seis períodos analisados neste estudo. Pode-se notar nitidamente que, à partir de 2011/1, inicia-se uma queda significativa no percentual de alunos concluintes, atingindo um valor mínimo de 34,6% em 2011/2 e com uma pequena recuperação em 2012/1 (41,5%). Esperava-se que o recesso acadêmico no período 2012/2 contribuisse para um alto índice de não-conclusão da disciplina, entretanto, o índice de conclusão para o período de 2012/2 foi de 62,9%, o que representa um aumento de mais de 50% em relação ao período anterior.

Ainda na Tabela 2 podemos observar a evolução temporal dos percentuais de aprovação na primeira etapa da disciplina de Lógica. Para o cálculo dos valores apresentados nesta tabela foi considerado o percentual de alunos aprovados na primeira etapa em relação ao número total de alunos não-desistentes. Como pode ser observado nesta tabela, após uma relativa ascensão em 2010/2, o percentual de aprovações entrou em acentuado declínio, chegando a um mínimo de 8,57% em 2012/1. Um quadro certamente preocupante. Também muito preocupante é o fato de este ponto de mínimo representar uma redução de mais de 68% em relação ao índice do período anterior, que foi de 26,92%. Tentou-se levantar possíveis causas para esta queda brusca através de entrevistas informais com os alunos, mas os resultados destas entrevistas foram inconclusivos.

Esta taxa de aprovação, entretanto, demonstra uma ascensão tremenda em 2012/2, chegando a 47,83%. Não apenas este número representa um aumento de mais de 550% em relação ao período anterior, ele também eleva o índice de aprovação na primeira etapa para bem próximo de 50%, um índice maior do que qualquer outro verificado nesta série

³ A nota da *primeira etapa* é a nota semestral computada antes da realização da Prova Final.

TABELA 3. Valores médios para as notas das avaliações de lógica formal e para a nota geral da primeira etapa.

Período	$E(L_1)$	$\sigma(L_1)$	$E(L_2)$	$\sigma(L_2)$	$E(N_{E1})$	$\sigma(N_{E1})$
2010/1	36,2	22,7	45,1	23,3	41,6	24,2
2010/2	59,2	18,4	52,6	17,5	44,0	25,4
2011/1	51,1	19,7	38,7	16,0	34,3	28,3
2011/2	64,3	19,2	44,8	25,1	22,8	29,9
2012/1	49,9	18,2	39,1	27,4	34,3	22,4
2012/2	55,2	21,0	58,4	17,8	43,4	29,1

Fonte: Elaboração própria à partir dos dados do registro acadêmico do IFES-Serra.

temporal. É importante reiterar que não se pode presumir que o uso de gamificação e de um assistente de provas foi o único responsável por esta melhora no índice, mas este é certamente um indicador importante a ser considerado.

A Tabela 3 apresenta um resumo dos dados relevantes referentes aos indicadores de notas obtidos pelos alunos na disciplina de Lógica ao longo dos 6 períodos analisados neste estudo. Para se computar todas as médias e desvios padrões das notas foram considerados apenas os alunos não-desistentes. As informações apresentadas nesta tabela são:

$E(L_1)$ – média das notas obtidas na primeira prova de lógica formal.

$\sigma(L_1)$ – desvio padrão das notas obtidas na primeira prova de lógica formal.

$E(L_2)$ – média das notas obtidas na segunda prova de lógica formal.

$\sigma(L_2)$ – desvio padrão das notas obtidas na segunda prova de lógica formal.

$E(N_{E1})$ – média das notas gerais da primeira etapa.

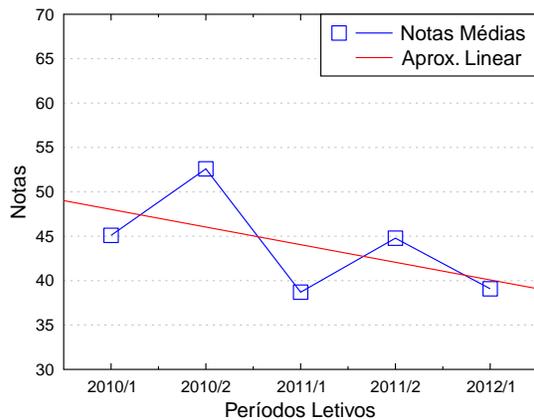
$\sigma(N_{E1})$ – desvio padrão das notas gerais da primeira etapa.

Como já foi dito, a disciplina de Lógica trata também de outros conteúdos periféricos à lógica formal, porém, tais conteúdos não foram abordados na proposta de gamificação do aprendizado de lógica elaborada neste estudo, assim, para tentar analisar e entender melhor o impacto desta proposta, considerou-se que uma apresentação e análise das avaliações específicas de lógica formal seria útil. Tipicamente a disciplina de lógica é avaliada por meio de 4 instrumentos: três avaliações teóricas e um trabalho prático. Destas três avaliações teóricas, duas se focam especificamente na lógica formal. Estas duas avaliações com foco em lógica formal são as avaliações denominadas L_1 e L_2 na Tabela 3. A mera apresentação destes dados, entretanto, não traduz toda a informação relevante sobre a evolução das notas e sua possível relação com o sistema proposto e implementado neste estudo.

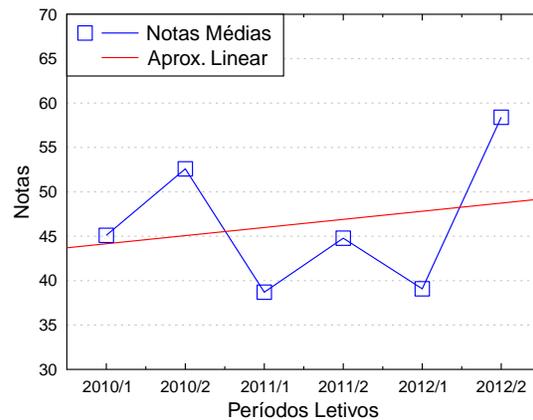
A análise apenas da média das notas de primeira etapa não é suficiente para se tirar qualquer indicador mais relevante quanto a efetividade do uso da estratégia de gamificação na melhora do desempenho dos alunos. Embora seja verdade que o desempenho, medido pelo índice de notas médias, tenha melhorado no período de 2012/2 em relação aos períodos anteriores, também é verdade que essa melhora foi fortemente afetada por outros fatores. Um panorama mais informativo pode ser dado pela análise das notas das provas de lógica formal.

Se for considerado especificamente o período de utilização do protótipo de sistema \exists elementar pelos alunos da disciplina de lógica, veremos que o maior impacto do uso deste sistema deve ter ocorrido na segunda prova de lógica formal, pois esta ocorreu algumas semanas após a disponibilização do sistema para uso dos alunos. Antes disto, embora se tenha procurado manter os alunos de algum modo envolvidos com o desenvolvimento do sistema, não havia utilização real ou efeito concreto do uso de gamificação.

Se for analisada a evolução histórica da média das notas da segunda avaliação de lógica formal até o período de 2012/1, conforme mostrado na Figura 7(a), será possível notar uma tendência de declínio destas notas, conforme fica evidenciado pela aproximação linear mostrada naquela figura. Embora haja alguma oscilação nos valores, a tendência descendente é clara. Por outro lado, ao se considerar também a média da nota da segunda avaliação de lógica formal para o período de 2012/2, conforme mostrado na Figura 7(b), verifica-se não apenas que esta média é significativamente superior a todas às outras médias registradas, mas também que a inclusão desta informação foi suficiente para reverter a tendência estatística de declínio nas notas, como evidenciado pela aproximação linear mostrada naquela figura.



(a) Médias das notas da 2ª prova até 2012/1.



(b) Médias das notas da 2ª prova até 2012/2.

Fonte: Elaboração própria à partir dos dados do registro acadêmico do IFES, campus Serra.

FIGURA 7. Médias das notas da 2ª prova de lógica formal.

Deve ser notado que a média da segunda avaliação de lógica formal para o período 2012/2 representa não apenas um aumento de mais de 49% em relação ao período anterior, mas também representa um aumento de mais de 11% em relação à maior média já registrada para esta avaliação.

Assim como foi feito na seção anterior, onde se discutiu os indicadores de aprovação, nesta seção também se faz necessário reiterar que os indicadores de notas médias coletados e analisados nesta seção não podem e não devem ser considerados *evidências* da efetividade do uso de gamificação ou do sistema proposto e implementado como parte deste estudo. Entretanto, estes indicadores *sugerem* que houve uma correlação entre o uso do assistente de provas gamificado \exists elementar e a melhoria de performance dos alunos, ao menos na segunda avaliação de lógica formal.

Apesar de alguns contratemplos que se interpuseram no desenvolvimento do presente trabalho, consideramos razoável dizer que este estudo obteve resultados animadores. Apesar de todos os prognósticos negativos gerados pela conjuntura social e política delicada em que se viu inserida a educação superior pública brasileira nos últimos dois anos, pode-se verificar melhoria em todos os indicadores analisados para o período de 2012/2, no qual foi realizado o experimento, se comparado com os três períodos anteriores. Além disso, em todos os indicadores analisados, quando não se obteve os melhores resultados já registrados, se obteve resultados muito próximos dos melhores registrados.

CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Esta pesquisa demonstrou-se a viabilidade prática de uma abordagem de ensino de lógica formal utilizando-se ferramentas didáticas computacionais.

No campo do uso de assistentes de prova como ferramentas de ensino, como já citado na seção anterior, esta pesquisa ofereceu não apenas resultados teóricos, como também gerou um “produto” prático e palpável na forma do sistema \forall DeL. Este sistema representa uma contribuição importante para o desenvolvimento tanto da área de assistentes de prova educacionais, quando do ensino de lógica formal de modo geral. Além disso, os potenciais benefícios do sistema \forall DeL, não estão confinados ao desenvolvimento desta pesquisa. O sistema está disponível na forma de um *software* livre e pode ser acessado por qualquer pessoa interessada.⁴

No tema da gamificação do ensino de lógica formal, foi apresentada uma proposta para a criação de um sistema de ensino de lógica formal que empregue gamificação, e um protótipo do sistema proposto foi implementado e utilizado em caráter experimental. Além da proposta desenvolvida nesta pesquisa, o protótipo do sistema \exists elementar, também

⁴ O sistema \forall DeL, pode ser obtido no endereço web <http://logica.sr.ifes.edu.br>.

representa uma grande contribuição ao estudo da gamificação da educação. Assim como o sistema \forall DeL, o \exists Elementar está disponível à comunidade acadêmica, ou a qualquer pessoa interessada, tanto na forma de um sistema web que pode ser utilizado gratuitamente, quanto na forma de *software* livre através de seu código fonte.⁵

Esta pesquisa fez contribuições, mas também gerou novas indagações e chamou a atenção para outras possíveis linhas de pesquisa. A seguir, indicamos alguns dos caminhos possíveis para dar continuidade à pesquisa que foi desenvolvida até agora:

- Primeiramente, se apresenta como evidente a necessidade de prosseguir no desenvolvimento do sistema \exists Elementar. Devido a restrições de recursos e tempo, o protótipo desenvolvido não incorporou todos os requisitos levantados. O próximo passo lógico na continuidade de nossa pesquisa é, portanto, gerar uma nova versão do protótipo que incorpore os demais requisitos.
- Uma outra possível linha de pesquisa que pode ser explorada é a avaliação do efeito dos estilos de aprendizagem propostos por Kolb et al. [17] nos índices de motivação dos estudantes de lógica formal, e também quais as relações entre os diferentes estilos de aprendizagem e o uso de gamificação no ensino.
- Ainda outra possível linha de pesquisa, é a investigação de metodologias de ensino de lógica formal utilizando a abordagem do ensino baseado em problemas (“*Problem Based Learning*” – PBL). Embora haja ampla literatura sobre a abordagem PBL em diversos contextos, uma pesquisa preliminar apontou uma falta de estudos sobre a aplicação desta metodologia ao ensino de lógica formal.

Certamente, há outras linhas de pesquisa que poderiam ser citadas como possíveis caminhos para se continuar e aprofundar esta pesquisa, mas as que expostas acima são consideradas as mais relevantes e aquelas cuja concretização se encontra no horizonte visível de possibilidades.

REFERÊNCIAS

1. J. Barwise, and J. Etchemendy, *Language, Proof and Logic*, Seven Bridges Press, 1999.
2. M. d. O. G. Setti, *O Processo de Discretização do Raciocínio Matemático na Tradução para o Raciocínio Computacional*, Tese (doutorado), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR (2009).
3. C. K. F. Wiedijk, and M. H. F. van Raamsdonk, *PATE’07* p. 33 (2007).
4. Y. Kameyama, and M. Sato, “E-learning of Foundation of Computer Science,” in *Proc. AEARU Workshop on Network Education (AWNE2006)*, Taipei, 2006, pp. 169–181.
5. S. Deterding, M. Sicart, L. E. Nacke, K. O’Hara, and D. Nixon, “Gamification: Using Game Design Elements in Non-gaming Contexts,” in *Proc. of the 2011 Annual Conference on Human factors in Computing Systems – CHI 2011*, 2011.
6. D. MacMillan, ‘gamification’: A growing business to invigorate stale websites, *Businessweek Magazine* (2011), URL http://www.businessweek.com/magazine/content/11_05/b4213035403146.htm, acesso em 2013-05-11.
7. J. McGonigal, *Reality is Broken*, The Penguin Press, New York, NY, 2011.
8. K. M. Kapp, *The Gamification of Learning and Instruction*, Pfeiffer, 2012.
9. J. J. Lee, and J. Hammer, *Academic Exchange Quarterly* **15**, 146–150 (2011).
10. K. Werbach, and D. Hunter, *For the Win*, Wharton Digital Press, 2012.
11. C. I. Muntean, “Raising engagement in e-learning through gamification,” in *Proc. 6th International Conference on Virtual Learning ICVL*, 2011, pp. 323–329.
12. R. Caillouis, *Man, Play, and Games*, University of Illinois Press, 1961.
13. J. Juul, *Half-Real: Video Games between Real Rules and Fictional Worlds*, The MIT Press, 2005.
14. V. Petrović, and D. Ivetić, “Gamifying Education: A Proposed Taxonomy of Satisfaction Metrics,” in *Proc. 8th International Scientific Conference eLearning and software for Education*, 2012, pp. 345–350.
15. B. J. Fogg, *Persuasive Technology: Using Computers to Change What We Think and Do*, Morgan Kaufmann, 2002.
16. R. A. Bartle, *Designing Virtual Worlds*, New Riders, 2003.
17. D. A. Kolb, et al., *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*, vol. 1, Prentice-Hall Englewood Cliffs, NJ, 1984.

⁵ O sistema \exists Elementar pode ser acessado pelo endereço web <http://logica.sr.edu.br/elementar>.