

Expert System for the Validation of Academic Credits in Higher Education Institutions

F. H. Campos, G. K. Montanha, V. C. Andrade and F. C. V. Benito

Abstract— The capability of an expert system to acquire performance similar to the human ones allows its application in various areas of knowledge. In higher education institutions one of the activities that require the knowledge of an expert and a considerable time, is the validation of academic credits analysis requested by students coming from other courses or institutions. In this context, this study aimed to develop an expert system to support the validation of academic credits in higher education institutions. For the system development were carried out activities of requirement elicitation, modeling and construction of SE knowledge base. For its implementation were used the Java programming language by the integrated development environment NetBeans 7.2 and the database management system used was MySQL 5.5.27 server. The expert system developed has reached the goal proposed acting as an efficient tool for the specialist during the validation analysis of academic credits, featuring the average hit rate of 89.4%.

Keywords— Artificial Intelligence, Java, Academic Credits Validation.

I. INTRODUÇÃO

A UTILIZAÇÃO, de sistemas especialistas tem alcançado bons desempenhos nas diversas áreas em que é aplicado, como indústria, medicina, educação entre outras. Sua principal vantagem em relação a outros sistemas é a capacidade de incorporar inteligência artificial (IA) e dessa forma, por meio de um raciocínio inferencial, realizar tarefas com desempenho similar ao de um ser humano com conhecimento especializado em determinada tarefa ou área. Entre as principais utilidades dos SE é possível citar a capacidade de capacitar não-especialistas, servir de assistente para especialistas e melhorar a produtividade e desempenho de seus usuários.

No âmbito educacional uma situação comumente observada em instituições de ensino superior públicas ou privadas é a transferência de alunos entre cursos ou instituições. Ao ser transferido o aluno pode solicitar a convalidação de disciplinas já cursadas. Para que uma disciplina possa ser convalidada é necessário realizar a análise da ementa da disciplina, carga horária, nota e frequência do aluno. Essa análise é realizada por um especialista que geralmente é o próprio coordenador

do curso que o estudante deseja cursar. Essa tarefa demanda grande quantidade de tempo e concentração por parte do especialista, pois requer a análise detalhada do conteúdo da ementa de cada disciplina e possível viabilização da convalidação da disciplina.

Neste contexto este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um sistema especialista utilizado como ferramenta de apoio para a atividade de convalidação de disciplinas de alunos de instituições de ensino superior.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A. Sistemas Especialistas

A inteligência artificial (IA) estuda a capacidade de simular o pensamento e o conhecimento humano e foi criada com a intenção de dar autonomia às máquinas, de maneira que estas se aproximem ao máximo do raciocínio humano. Fundamentando-se na ideia de que é possível modelar o funcionamento da mente humana através do computador a IA é aplicada no desenvolvimento de sistemas inteligentes a várias décadas [1].

Atualmente a IA abrange uma enorme variedade de áreas de uso geral, sendo que ela sistematiza e automatiza tarefas intelectuais e, portanto, é potencialmente relevante para qualquer atividade que exija a simulação da atividade intelectual humana [2].

Uma das áreas de interesse de aplicação da IA são Sistemas Especialistas (SE). Um SE é um programa de computador desenvolvido para solucionar problemas em um campo específico do conhecimento a partir da obtenção do conhecimento de especialistas humanos codificados de uma forma que o software possa aplica-los a problemas semelhantes [3, 4, 5].

Para que um programa funcione como um especialista humano, ele deve ser capaz de fazer as mesmas coisas que um especialista humano faria, no entanto é importante ressaltar que o SE não é desenvolvido para ocupar o lugar do especialista e sim, para ampliar e organizar suas experiências e conhecimentos. Os SE mais simples são aqueles em que todas as regras são conhecidas e determináveis, o raciocínio por trás desse ideal é que, quanto mais sólido for o conhecimento do domínio do especialista, mais confiáveis serão as decisões do sistema [5].

Os sistemas especialistas nas últimas décadas vêm sendo aplicados na resolução de diversos tipos de problemas como, por exemplo, no planejamento, monitoramento, diagnóstico, treinamento, formação e especialmente como sistemas de apoio a decisão [3, 4].

F. H. Campos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Santa Helena, Paraná, Brasil, fhcampos@utfpr.edu.br

G. K. Montanha, Faculdade de Tecnológica de Botucatu, Botucatu, São Paulo, Brasil, gmontanha@gmail.com

V. C. Andrade, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil, vcandrade@utfpr.edu.br

F. C. V. Benito, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Santa Helena, Paraná, Brasil, franckbenito@utfpr.edu.br

(Corresponding author: Fernando Henrique Campos.)

B. Base de conhecimento e motor de inferência

Um sistema especialista é composto de uma base de conhecimento (que contém o conhecimento específico em codificado na forma de regras) e um motor de inferências (que realiza as inferências, decidindo quais regras são satisfeitas por fatos ou objetos conhecidos, prioriza as regras a serem satisfeitas e em seguida executa as regras com prioridades mais altas), um usuário e uma interface [6].

A base de conhecimento consiste em partes específicas do conhecimento sobre algum domínio específico e é diferente de uma base de dados, por incluir tanto o conhecimento explícito quanto o conhecimento implícito. As bases de conhecimento podem conter diferentes tipos de conhecimento, associados ao processo de aquisição de conhecimento [7].

A participação do especialista humano no processo de desenvolvimento do sistema especialista é essencial, porque é a partir do seu conhecimento que os engenheiros do conhecimento poderão criar a base de conhecimento do sistema especialista e assim, chegar às respostas desejadas, bem como chegaria o especialista humano, porém de uma forma mais rápida e com menor risco de erro [8].

No desenvolvimento de um sistema especialista um dos principais pontos críticos é a obtenção do conhecimento dos especialistas em determinado assunto, tal ação é denominada aquisição de conhecimento, de modo que diversos métodos tem sido propostos para lidar com esse problema. A maioria desses métodos são propostas de como lidar com a aquisição de conhecimento através de entrevistas com os especialistas do conhecimento, podendo também abranger outras fontes de conhecimento (revistas especializadas, dados estatísticos, entre outras) [1, 9].

O engenheiro do conhecimento coleta e organiza o conhecimento adquirido através do especialista humano e o representa de forma que o computador (sistema especialista) possa entender e salvar aquele conhecimento na base de conhecimento do SE. [10].

O motor de inferência é a parte do SE que tem responsabilidade pelas deduções utilizando a base de conhecimento, simulando os tipos e estratégias de raciocínios do especialista humano, de forma a decidir a próxima ação a ser realizada, sempre tentando derivar as conclusões [2, 11].

O motor de inferência utiliza as regras do sistema e deduz a partir da base de conhecimento as conclusões que ainda não estão explicitamente indicadas, mas podem ser inferidas. As formas de inferências específicas permitidas pela inferência de diferentes motores, pode variar dependendo de diversos fatores incluindo o conhecimento e estratégias de representação utilizados pelo sistema especialista [7].

C. Elicitação de requisitos

A engenharia de requisitos contempla um conjunto de atividades que direcionam ao entendimento das regras de desenvolvimento do sistema e o retorno que o cliente espera do software e da interação final do usuário com o software [12].

O processo de descobrir, analisar, documentar e verificar esses serviços e restrições é chamado de engenharia de

requisitos. Ele define ainda quais requisitos de um sistema são descrições dos serviços a serem fornecidos pelo sistema e suas restrições operacionais [13].

O processo de engenharia de requisitos é dividido em quatro fases: I) elicitación; II) análise e negociação; III) especificação e documentação; e IV) validação, podendo ainda incluir a atividade de gerência de requisitos [13].

A elicitación de requisitos é considerada por alguns autores como a parte mais crítica no desenvolvimento software, pois a qualidade do produto final depende fortemente da qualidade dos requisitos elicitados [14].

Pesquisas apontam que 85% dos problemas de software, tem origem na atividade de elicitación de requisitos, portanto, para evitar fracassos em projetos de desenvolvimento de software, é fundamental que hajam profissionais treinados no processo de engenharia de requisitos e que sejam capazes de realizar a elicitación de requisitos com qualidade [13, 15, 16].

Os desenvolvedores de software têm procurado a melhor forma de levantar os requisitos de um sistema e, dessa forma, diversas técnicas e métodos foram criados para garantir que um sistema atenda às necessidades e expectativas dos clientes [12].

No processo de elicitación de requisitos, algumas técnicas são empregadas: entrevistas, questionários, casos de uso, *brainstorming*, etc. Neste contexto é possível observar que a atividade de elicitación de requisitos requer um processo iterativo, que deve acontecer de forma colaborativa envolvendo analistas, usuários e aplicação de técnicas [12].

D. Modelagem e Linguagem Unificada de Modelagem (UML)

O A modelagem de um sistema estabelece a estrutura do software que será desenvolvido a fim de satisfazer aos requisitos, incluindo o projeto do banco de dados e o desenho interno que modela as partes lógicas e físicas do software, bem como suas interconexões e comunicações com softwares externos [17].

A Linguagem Unificada de Modelagem (UML) é uma linguagem de modelagem objeto-orientada, de uso geral projetada para especificar, visualizar, construir e documentar os artefatos de um sistema de software e foi padronizada pelo *Object Management Group* (OMG) [17, 18, 19, 20].

Um modelo UML representa através de notação gráfica a especificação de um software. A especificação realizada através da modelagem UML é composta por diferentes tipos de diagrama, cada um representado uma visão diferente (ou parte) do sistema. Entre os diagramas estão presentes os diagramas de Casos de uso, diagramas de classes diagramas de sequencia, diagramas de componentes entre outros [18, 19, 21].

E. Linguagem de Programação Java e Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados MySQL

Java é uma linguagem de programação desenvolvida pela Sun Microsystems no início da década de 90 e pode ser caracterizada como sendo orientada a objetos, independente de plataforma e multitarefa e tem sua popularidade devido à sua portabilidade, segurança e conhecimento generalizado. Ele está começando a desempenhar um papel que C e C++ vêm

realizando com sucesso por muitos anos, especialmente em aplicações de computação empresarial [22, 23].

A linguagem de programação Java independe do sistema operacional, pois utiliza um processo diferente de compilação ou interpretação dos tradicionalmente conhecidos. Um interpretador é como o nome indica um programa que interpreta diretamente as frases do programa fonte, isto é, simula a execução dos comandos desse programa sobre um conjunto de dados. A interpretação de programas escritos em uma determinada linguagem define uma “Máquina Virtual”, na qual é realizada a execução de instruções [28, 29].

O MySQL é um banco de dados relacional que utiliza o SQL como forma de acessar e manipular dados armazenados. É um sistema de banco de dados robusto, rápido, multitarefa, multiusuário, podendo ser utilizado embutido em um programa de uso em massa, com alta carga e missão crítica. Este SGBD pode ser usado para vários fins, como: uma simples lista de compras, uma galeria de imagens ou uma grande quantidade de dados de uma rede corporativa [22].

O MySQL é um Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD) confiável, robusto, gratuito, estável, portátil para diferentes plataformas assim como a linguagem de programação Java e oferece um alto nível de segurança [23, 27].

III. MATERIAL E MÉTODOS

A. Levantamento de requisitos

Para realizar o levantamento de requisitos, foram utilizadas as técnicas de entrevistas, questionários, workshops de requisitos e prototipagem. As entrevistas e questionários tiveram como premissa identificar os objetivos e as restrições do sistema a ser desenvolvido e obter informações relevantes a respeito das necessidades dos usuários. Durante as entrevistas foi solicitado que o entrevistado realizasse a descrição da forma utilizada para realizar a análise da convalidação de disciplinas dos alunos, e através dessa informação, foi possível compreender detalhadamente os passos do processo. Como resultado desta etapa foi possível observar que para realizar a análise do pedido de convalidação de disciplinas, é realizada a análise da compatibilidade da carga horária, da ementa das disciplinas das instituições de ensino envolvidas, além da nota e frequência do aluno na referida disciplina. Após a análise é possível julgar se o aluno pode ou não convalidar a disciplina.

Após a aplicação das entrevistas e questionários, foram realizados workshops de requisitos com os coordenadores de curso de cada instituição envolvida no desenvolvimento do SE separadamente, visando à obtenção do conjunto de requisitos necessários para atender as necessidades de cada instituição de ensino individualmente. Posteriormente foi selecionado um representante de cada instituição de ensino para um novo workshop para a obtenção do conjunto de requisitos que satisfizesse as necessidades das instituições de ensino em conjunto e definir a lista final requisitos do sistema. Após a definição final da lista de requisitos, também foram construídos protótipos em papel, para realizar a discussão sobre a usabilidade do sistema.

B. Modelagem do sistema

O sistema foi modelado com a utilização da UML, com a intenção de documentar e visualizar o sistema como um todo e verificar a consistência da lista de requisitos. Dessa forma, foi desenvolvido o diagrama de casos de uso e elaborada uma documentação visando descrever especificamente a funcionalidade de cada caso de uso. A Fig. 1 apresenta o diagrama de casos de uso do Sistema Especialista. A modelagem foi totalmente baseada nos requisitos obtidos através da elicitação de requisitos, de forma que a modelagem depois de realizada, foi remetida para a avaliação dos representantes de cada instituição de ensino e aprovada pelos mesmos.

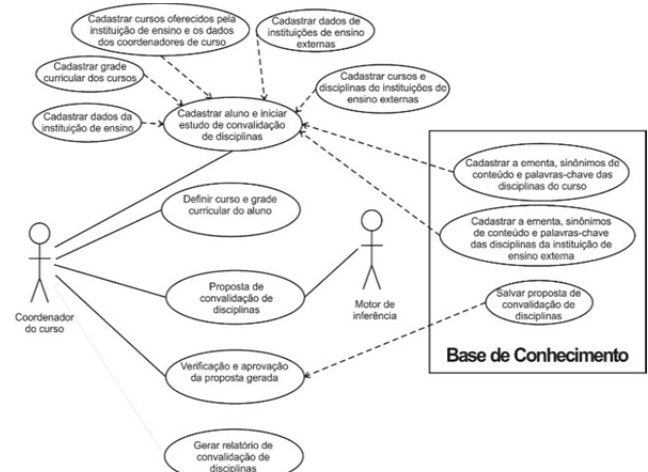


Figura 1. Diagrama de casos de uso do Sistema Especialista.

C. Mapeamento Objeto-Relacional

Para a construção do sistema, foi utilizado um Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD) relacional e também houve a necessidade de um mapeamento objeto relacional, para facilitar os acessos aos dados e possibilitar as várias abordagens de seu tratamento.

D. Construção da base de conhecimento e do motor de inferência

Após a análise do procedimento realizado para efetuar a convalidação das disciplinas, foi constatado que este é realizado baseado na similaridade de carga horária, conteúdos entre as ementas das disciplinas, e conhecimento específico do especialista em associar conteúdos com nomes distintos mas semelhantes na essência geral do conhecimento da disciplina. Dessa forma a base de conhecimento do Sistema Especialista é composto pelas ementas das disciplinas oferecidas nos cursos da instituição e sua carga horária. Para simular o conhecimento específico do especialista e refinar a base de conhecimento do SE, no cadastro de cada tópico da ementa das disciplinas foi possível realizar a associação de palavras-chave ou sinônimos que representem através de outras palavras ou idéias, o conteúdo de um tópico da ementa. O raciocínio e processo de inferência do SE é realizado da seguinte maneira assim que informado o curso atual e o curso que o aluno cursava, é realizada uma seleção entre as ementas

das disciplinas que se encontram na mesma área e subárea de conhecimento.

Em seguida é realizado o processo de comparação e análise textual das ementas onde cada palavra, de cada tópico da ementa das disciplinas são transformadas em *strings* e passam por um processo de normalização, que tem por objetivo tratar hifens, gênero, números, palavras compostas e eliminar prefixos e sufixos que não contribuem para a identificação [28]. Também são associados a cada *string* de cada tópico os sinônimos apresentados pelos especialistas a cada tópico da ementa. Após a normalização das *strings* de cada tópico, as ementas são comparadas para a verificação de sua similaridades sendo que a cada comparação de *strings* pode ser atribuído o valor máximo de 1 e mínimo de 0.

Para a realização da comparação entre as *strings* foi utilizado o algoritmo de Smith Waterman [24], devido ao fato de este possibilitar que duas *strings* com sufixo semelhantes como por exemplo “coautoria” e “autor” possuam um bom escore de alinhamento, o que não é o caso de outros algoritmos de comparação como por exemplo o algoritmo de Levenshtein. Através do algoritmo de Smith Waterman são atribuídos escores diferentes para cada operação possível: *match* (casamento, igualdade dos caracteres); *mismatches* (substituições); inserções, remoções. Todas as possibilidades são avaliadas para se chegar ao maior escore. Na Fig. 2, é possível observar a definição da função de Smith-Waterman:

$$M(i,j) = \text{Max} \{ M(i-1, j) - 1, //\text{inserção} \\ M(i-1, j-1) + p(i, j), //\text{match ou substituição} \\ M(i, j-1) - 1, //\text{remoção} \\ 0 \} //\text{alinhamento vazio}$$

Figura 2. Definição da função de Smith-Waterman.

Na Fig. 2, o M é a matriz de Smith-Waterman e $M(0,0) = 0$. A função $p(i,j)$ é utilizada para realizar a determinação da igualdade entre os termos comparados (match) ou não (substituição). O X e o Y são as strings que estão sendo comparadas e “i” e “j”, são respectivamente, as posições dos caracteres destas duas strings, de modo que o alinhamento a ser escolhido, será o de maior escore em qualquer posição da matriz. Na Fig. 3, é possível observar o exemplo da comparação das palavras “autor” com “coautoria” e observar que o maior escore obtido foi 10.

	ε	c	o	a	u	t	o	r	i	a
ε	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
a	0	0	0	2	1	0	0	0	0	2
u	0	0	0	1	4	3	2	1	0	1
t	0	0	0	0	3	6	5	4	3	2
o	0	0	2	1	2	5	8	7	6	5
r	0	0	1	1	1	4	7	10	9	8

Figura 3. Exemplo do escore de alinhamento obtido na comparação das palavras “autor” e “coautoria”.

Após a comparação dos *strings* é gerado uma somatória com os valores de comparação obtidos. Caso o valor obtido seja igual ou maior a 75% de compatibilidade entre as ementas é verificada a carga horária da respectiva disciplinar e caso a mesma seja correspondente a no mínimo 75% da carga horária, a disciplina é sugerida como possível disciplina a ser convalidada pelo aluno. No caso da disciplina atingir valores de similaridades de ementa e carga horária menor que 75% porém superior a 50% é verificada a possibilidade de associação de outras disciplinas para a realização da convalidação. É possível que sejam sugeridas até três disciplinas para a convalidação de uma disciplina. Restando ao usuário do sistema especialista validar a correlação entre as disciplinas, carga horária e nota de aprovação do aluno para validar a convalidação da disciplina sugerida pelo SE. Na Fig. 4, é apresentada a estrutura do Sistema Especialista.

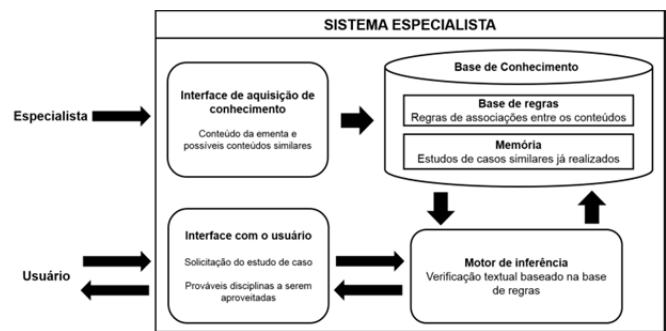


Figura 4. Estrutura do Sistema Especialista.

Toda vez que um estudo de caso é realizado pelo sistema especialista são armazenados os seguintes dados: Instituição e curso de origem do aluno e curso que o aluno está cursando atualmente na instituição. Estes dados são salvos e compõe a memória do Sistema Especialista para que não seja necessário realizar novamente a comparação das ementas caso um aluno possua a mesma instituição e curso de origem de um estudo de convalidação já realizado.

E. Implementação

Para a implementação do software foi utilizada a linguagem de programação Java através do Ambiente Integrado de Desenvolvimento (IDE) *NetBeans* 8.0.2. O SGBD escolhido para armazenar os dados e as informações foi o *MySQL Server* 5.6.23, por ser gratuito, no entanto este SGBD pode ser facilmente substituído por qualquer outro.

Para realizar o mapeamento objeto-relacional foi utilizado *framework* *Hibernate* 4.3.8 com suporte à especificação *Java Persistence API* (JPA) 2.1 que se trata de um *framework* ORM (*Object-Relational Mapping*) ou o Mapeamento Objeto-Relacional para ambientes Java.

F. Validação do Sistema Especialista

Durante o desenvolvimento do sistema foram construídos diversos protótipos do sistema que foram avaliados pelos especialistas envolvidos no processo de elicitação de requisitos. A cada novo protótipo, foram realizadas as correções sugeridas pelos especialistas até a obtenção da versão final do aplicativo que foi distribuída e instalada nas

instituições de ensino envolvidas no desenvolvimento do sistema.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O sistema especialista foi desenvolvido com o objetivo de agilizar o processo de análise de aproveitamento de disciplinas já cursadas por alunos transferidos de outras instituições de ensino para uma nova instituição. Durante o desenvolvimento objetivou-se criar interfaces gráficas simples e intuitivas para facilitar a adaptação do usuário com o sistema. As funcionalidades apresentadas pelo sistema desenvolvido serão explicadas a seguir através de suas respectivas interfaces gráficas.

A. Interfaces de Cadastro

As interfaces de cadastro permitem o cadastro dos seguintes dados: dados da instituição, cursos e coordenadores de curso, grade curricular, disciplinas, ementas e vinculação a grade curricular, instituições de ensino externas, cursos de instituições externas, disciplinas e ementas de instituições externas. Devido à similaridade das funcionalidades dessas interfaces visto que todas têm como objetivo final o cadastro de dados, optou-se nesse artigo por explicar detalhadamente e apresentar através de figuras somente algumas delas.

B. Interface de Inclusão de Disciplinas, Ementas e Vinculação a Grade Curricular

Esta interface permitiu ao usuário realizar o cadastro de uma nova disciplina, e vincular à disciplina a grade curricular de um determinado curso oferecido pela instituição de ensino. Para realizar o cadastro da disciplina foi necessário selecionar o curso, a grade curricular, informar o nome da disciplina e a qual grande área, área do conhecimento e subárea ela pertence (conforme tabela da capes), carga horária, ementa e também o ano e semestre ao qual será vinculada a disciplina a grade curricular.

Conforme pode ser observado na Fig. 5, o cadastro da ementa da disciplina, é dividido em tópicos, e é facultado ao usuário incluir em cada tópico sinônimos ou palavras-chave que o mesmo considere pertinentes ao conteúdo de cada tópico informado, com o objetivo de aumentar a base de conhecimento do sistema especialista e dessa forma aumentar sua eficiência. Conforme descrito é por meio desta tela que o especialista pode inserir novos conhecimentos ao sistema especialista ou atualizá-los.

C. Interface de Proposta de Convalidação de Disciplinas

Nesta interface foi possível ao usuário iniciar a análise do pedido de convalidação de disciplinas do aluno requisitante. Para iniciar a análise foi necessária a informação dos seguintes dados: data de solicitação da convalidação, nome, telefone, celular e e-mail do aluno, selecionar a instituição de origem do aluno (instituição e curso onde o aluno cursou as disciplinas das quais pretende pedir a convalidação). Após informação dos dados necessários, a inteligência artificial do SE buscou através das regras impostas, as disciplinas do curso anterior do aluno, que mais se assemelhavam em relação ao conteúdo da

ementa e carga horária, com as disciplinas que o aluno deveria cursar no curso atual.

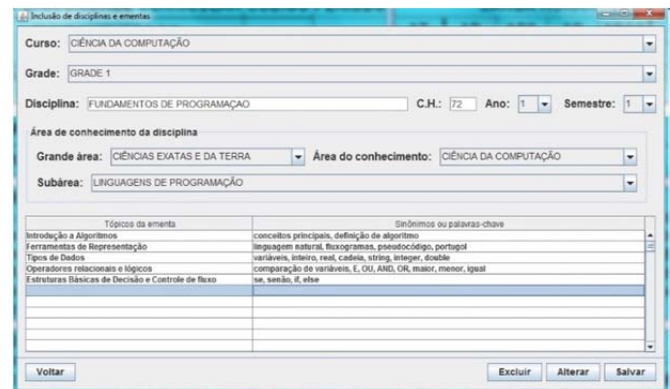


Figura 5. Interface de Inclusão de Disciplinas, Ementas e Vinculação a Grade Curricular.

Como é possível observar na Fig. 6, o sistema propôs ao usuário, baseado nas regras de similaridade, as disciplinas que poderiam ser aproveitadas pelo aluno, restando ao usuário verificar se o aluno realmente cursou as referidas disciplinas, se o aluno obteve as notas e frequências mínimas para aprovação e validar a convalidação das disciplinas ou realizar as correções necessárias na proposta sugerida pelo SE.

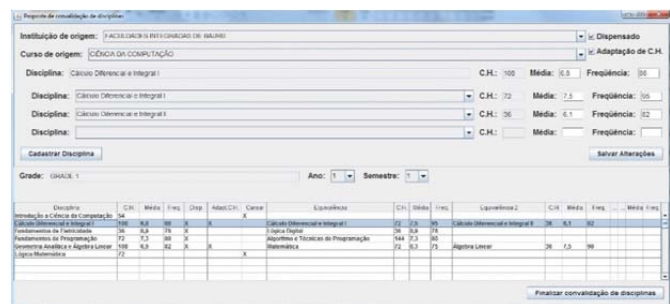


Figura 6. Interface de Proposta de Convalidação de Disciplinas.

Após verificar todas as disciplinas sugeridas, o usuário deve finalizar a análise das convalidações.

D. Relatórios

Depois de concluída e validada a análise do aproveitamento de disciplinas o usuário pôde gerar um relatório com as informações referentes à análise de convalidação realizada. Os relatórios foram projetados conforme a solicitação feita pelos especialistas na fase de elicitação de requisitos de forma que foi possível gerar dois tipos de relatório: O relatório completo que exhibe além das informações do discente, todas as disciplinas que deveram ser cursadas pelo aluno (onde não houve a convalidação) e as disciplinas que foram convalidadas. E também o relatório de convalidação que exhibe somente as disciplinas convalidadas pelo aluno assim como a sua nota e frequência e as respectivas disciplinas utilizadas para a convalidação. Foi possível realizar a customização dos relatórios e do SE inserindo o logotipo da instituição que está utilizando o sistema. O logotipo inserido foi apresentado no formulário de abertura do SE e nos relatórios.

E. Avaliação da Taxa de Acerto do Sistema Especialista Mediante o Refinamento do Conhecimento Inserido

A avaliação da taxa de acerto do SE mediante a inclusão de sinônimos e palavras-chave em cada tópico da ementa, foi dividida em três condições. Em todas as condições foram incluídas todas as disciplinas e ementas de três cursos de graduação de áreas similares, e foi realizada a simulação de pedidos de convalidações para os cursos em questão. No entanto na primeira condição, foi solicitado que ao ser cadastrada a ementa das disciplinas do curso (construção da base de conhecimento do SE), o especialista não associasse nenhuma palavra-chave ou sinônimo aos tópicos das ementas. Sendo que na segunda e terceira condição, foi solicitado que fossem cadastrados três e cinco sinônimos ou palavras-chave para cada tópico da ementa respectivamente. Após a realização das simulações de pedido de convalidação, foram obtidos o seguintes resultados apresentados na Fig. 7.

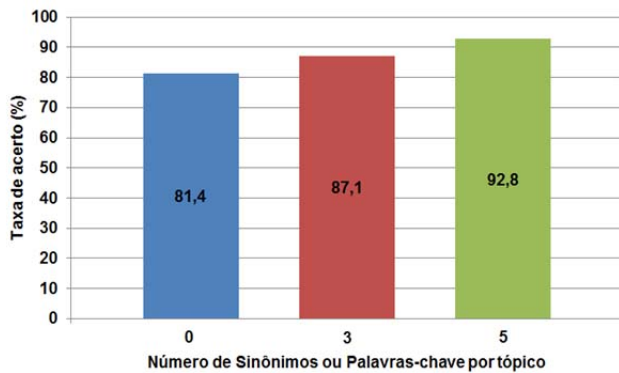


Figura 7. Taxa de acerto do Sistema Especialista mediante o número de sinônimos ou palavras-chave associadas a cada tópico da ementa.

Conforme é possível observar na Figura 7, quando não foi associado nenhum sinônimo ou palavra-chave aos tópicos das ementas, foi obtida a taxa de acerto de 81,4%, ao ser realizado 3 e 5 associações foram obtidos os resultados de 87,1% e 92,8% respectivamente, evidenciando que quanto maior for o detalhamento do cadastro dos tópicos das ementas das disciplinas do curso, melhor será o desempenho do Sistema Especialista.

F. Validação do Sistema Especialista nas Instituições de Ensino Superior

Para realizar a validação do Sistema Especialista nas instituições de ensino superior, ele foi instalado nas cinco instituições envolvidas no desenvolvimento do projeto e foi utilizado pelas mesmas pelo período de seis meses auxiliando os coordenadores de curso na atividade de convalidação de disciplinas. Após este período, foram coletadas as percepções dos usuários e a taxa de acerto do Sistema Especialista em cada instituição de ensino. Na Fig. 8, é possível observar a taxa de acerto obtida nas instituições de ensino superior.

Conforme apresentado na Fig. 8, foram apresentados diferentes taxas de acerto para cada instituição de ensino, de forma que a taxa de acerto variou entre 84,6% e 95,6%. Credita-se a variação de desempenho do Sistema Especialista ao detalhamento das ementas das disciplinas cadastradas pelos

especialistas de forma que quanto melhor e mais detalhada a construção da base do conhecimento, maior a taxa de acerto apresentada pelo Sistema Especialista.

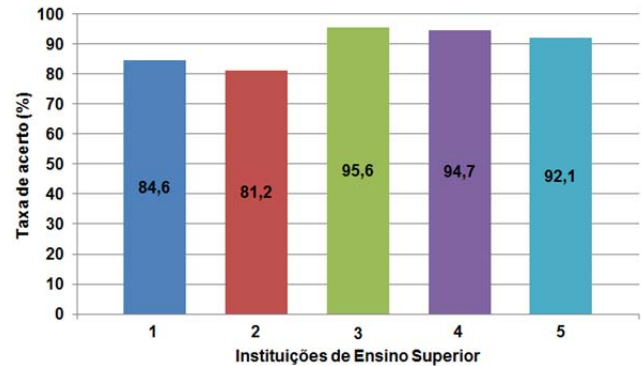


Figura 8. Taxa de acerto obtida pelo Sistema Especialista em cada instituição de ensino.

V. CONCLUSÃO

O sistema desenvolvido atendeu ao objetivo proposto funcionando como ferramenta de apoio aos coordenadores dos cursos de instituições de ensino superior na atividade de análise de pedidos de convalidação de disciplinas. As regras impostas para a formação da inteligência artificial do sistema especialista foram suficientes para realizar de maneira eficiente a proposta de convalidação de disciplinas dos alunos. A proposta de convalidação de disciplinas elaborada pelo Sistema Especialista, suas funcionalidades e a geração automática dos relatórios facilitaram e reduziram o tempo de trabalho despendido na análise da convalidação de disciplinas. Como trabalhos futuros pretende-se aprimorar a inteligência artificial do SE, ampliar sua distribuição às instituições de ensino superior e a manutenção de um servidor web para a criação de um banco de dados único para o acesso de todas as instituições de ensino superior que fizerem uso do SE.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem as instituições de ensino superior que financiaram e contribuíram com a realização deste projeto.

REFERÊNCIAS

- [1] H. C. Chu and G. J. Hwang, "A Delphi-based approach to developing expert systems with the cooperation of multiple experts", *Expert Systems with Applications*, vol. 34, pp. 2826-2840, 2008.
- [2] S. Russel and P. Norvig, *Inteligência Artificial*, Campus, 2013.
- [3] B. D. Mahaman, H. C. Passam, A. B. Sideridis and C. P. Yialouris, "DIARES-IPM: A diagnostic advisory rule-based expert system for integrated pest management in Solanaceous crop systems", *Agricultural Systems*, vol. 76, pp. 1119-1135, 2003.
- [4] Z. H. Zhou, Y. Jiang, Y. B. Yang and S. F. Chen, "Lung cancer cell identification based on artificial neural network ensembles", *Artificial Intelligence in Medicine*, vol. 24, no. 1, 25-36, 2002.
- [5] N. J. Nilsson, *Artificial Intelligence: a new synthesis*, Morgan Kaufmann, 1998.
- [6] Z. Xu, K. Gao, T. M. Khoshgoftaar and N. Seliya, "System regression test planning with a fuzzy expert system", *Information Sciences*, vol. 259, 532-543, 2014.

- [7] L. Shu-Hsien, "Expert system methodologies and applications—a decade review from 1995 to 2004", *Expert Systems with Applications*, vol. 28, no. 1, pp. 93-103, 2005.
- [8] G. Bittencourt, *Inteligência Artificial: Ferramentas e Teorias*, UFSC, 2006. <http://www.nd.com/download.htm>
- [9] <http://www.aaapress.org/Classic/Buchanan/Buchanan09.pdf>
- [10] Yuchuan Chen, Chien-Yeh Hsua, Li Liua, Sherry Yang, "Constructing a nutrition diagnosis expert system", *Expert Systems with Applications*, vol. 39, no. 2, pp. 2132–2156, 2012.
- [11] J. O'Brien, *Sistemas de Informação: e as decisões gerenciais na era da internet*, Saraiva, 2004.
- [12] R. S. Pressman, *Engenharia de Software – Uma abordagem profissional*, Bookman, 2011.
- [13] I. Sommerville, *Engenharia de Software*, Pearson, 2011.
- [14] R. Ferguson and G. Lami, "An empirical study on the relationship between defective requirements and test failures", in *Proc. 30th Annual IEEE/NASA Software Engineering Workshop*, Columbia, Maryland, pp. 7–10, 2006.
- [15] M. Fernandes, R. Machado and S. A. Seidman, "A requirements engineering and management training course for software development professionals", in *Proc. 22nd Conference on Software Engineering Education and Training*, Hyderabad, pp. 20–25, 2009.
- [16] D. P. Freitas, S. M. R. Borges and R. M. Araújo, "Colaboração e negociação na elicitação de requisitos", in *Proc. 10th Workshop Iberoamericano de Ingeniería de Requisitos y Ambientes de Software*, Isla de Margarita, pp. 1–14, 2007.
- [17] <http://www.omg.org/docs/formal/07-02-13.pdf>
- [18] S. Distefano, D. Paci, A. Puliafito and M. Scarpa, "UML design and software performance modeling", in *Proc. 19th international symposium on computer and information sciences IEEE*, pp. pp 564-573, 2004.
- [19] H. B. K. Tan, Y. Zhao, H. Y. Zhang, "Conceptual data model based software size estimation for information system", *ACM Transactions on Software Engineering and Methodology*, vol. 19, no. 2, pp. 4:1 – 4:37, 2009.
- [20] H.B.K. Tan, Y. Zhao, "Sizing data-intensive systems from ER model", *IEICE Transactions on Information and Systems*, vol. E89-D, no. 4, pp. 1321–1326, 2009. <http://www.research.ibm.com/eclipse/>
- [21] <http://www.omg.org/spec/UML/2.4.1/Superstructure>.
- [22] <http://java.sun.com/docs/books/tutorial/index.html>
- [23] G. L. Taboada, S. Ramos, R. R. Expósito, J. Touriño and R. Doallo, "Java in the High Performance Computing arena: Research, practice and experience", *Sci.Comput. Program*. Vol. 78, no. 5, pp. 425-444, 2013. <http://www.jooneworld.com/>
- [24] K. Sierra and B. Bates, *Use a cabeça! Java*, AltaBooks, 2012.
- [25] L. Beighley and M. Morrinson, *Use a cabeça! PHP & MySQL*, AltaBooks, 2010.
- [26] A. Jorgensen, B. Ball and S. Wort, *Professional Microsoft SQL Server 2014 Administration*, Wrox Press, 2014.
- [27] <http://dev.mysql.com/doc/refman/5.7/en/index.html>
- [28] R. B. Belian and A. C. Salgado, "Semantic-based Information Integration", in *Proc. 3rd WTDBD - Workshop de Teses e dissertações em Bancos de dados*, 2004.
- [29] T. F. Smite and M. S. Waterman, "Identification of Common Molecular Subsequences", *Journal of Molecular Biology*, vol. 145, no. 1, pp. 195-197, 1981.



Fernando Henrique Campos é Doutor e Mestre pelo programa de Energia na Agricultura na Universidade Estadual Paulista - UNESP. Graduado em Informática com Ênfase em Gestão de Negócios e Graduado em Logística com Ênfase em Transportes pela Faculdade de Tecnologia de Botucatu - FATEC. Atualmente é professor adjunto na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) onde é líder do grupo de pesquisa de Ciências Computacionais Aplicadas. Tem experiência em desenvolvimento de softwares e hardwares aplicados à agricultura, automação, controle, monitoramento e modelagem de sistemas logísticos. Realizou doutorado Sanduíche na Universidade Politécnica de Madri - Madrid/Espanha, onde também atuou como professor visitante. Atua principalmente no desenvolvimento de aplicativos para dispositivos móveis.



Gustavo Kimura Montanha é Graduado em Informática para Negócios pela Faculdade de Tecnologia de Botucatu, possui mestrado pelo programa de Energia na Agricultura, Faculdade de Ciências Agrônomicas da Universidade Estadual Paulista e Doutorado pelo programa Energia na Agricultura, Faculdade de Ciências Agrônomicas da Universidade Estadual Paulista. Atualmente é Docente da Faculdade de Tecnologia de Botucatu, Coordenador de Estágios dos cursos de Análise e Desenvolvimento de Sistemas e Informática para Negócios, Coordenador Institucional do Programa Ciência sem Fronteiras, Editor da Revista Científica Eletrônica Tekhne e Logos e Diretor de Modalidade da Jornada Científica e Tecnológica.



Vinícius Camargo Andrade é Graduado no curso de Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Ponta Grossa (2010). Mestre pelo programa de mestrado na Universidade Federal do Paraná (2013), com trabalho de mestrado na área de Desenvolvimento Orientado a Modelos (MDD), sendo bolsista CAPES. Atualmente é professor na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), atuando com pesquisas na área de Engenharia de Software, mais precisamente em Linhas de Produto de Software, Framework de Domínio, Modelagem de Sistemas e Padrões de Projeto.



Franck Carlos Vêlez Benito é graduado em Tecnologia em Sistemas de Informação pela Universidade do Estado de Santa Catarina (2007) e mestre em Informática pela Universidade Federal do Paraná (2010). Atualmente é Professor do Magistério Superior da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR - Campus Santa Helena. Tem experiência na área de Ciência da Computação, atuando principalmente nos seguintes temas: Programação, Estruturas de Dados, Redes de Petri, Inteligência Artificial, Análise Temporal e Sistemas em Tempo Real.