

Sistema de Previsão de Desempenho de Alunos para Auxílio a Aprendizagem e Avaliação de Disciplinas

Rodrigo Filev Maia¹, Eduardo Martins Spina², Selma Shin Shimizu²

¹Departamento de Ciência da Computação – Centro Universitário da FEI (FEI)- São Bernardo do Campo – SP – Brasil

²Departamento de Computação e Sistemas Digitais
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP) – São Paulo, SP – Brasil

rfilev@fei.edu.br, {eduardo.spina, selma.shimizu}@poli.usp.br

***Abstract.** The current work presents software capable of simulating the results obtained by students enrolled in an undergraduate course through the results obtained previously in other subjects of the course. The students and subjects were modelled as nodes and links in a graph and the growing models used in complex networks simulations were applied. The created graph represents similarity indexes between the students. The growing models were capable of predicting the evolution of the graph and, consequently, the grades obtained by the students to some precision. The results obtained brought a good precision in the simulated grades, and they also made a discussion about the students and the course characteristics possible.*

***Resumo.** O presente trabalho apresenta um software capaz de simular os desempenhos a serem obtidos por alunos matriculados em um curso de graduação a partir de seus resultados passados nas disciplinas do curso. Os alunos e as disciplinas foram modelados como nós e arestas de grafos e os modelos de crescimento destes baseiam-se em simulações de redes complexas. O grafo criado representa índices de similaridade entre os alunos. A partir destas relações de similaridade, os modelos de crescimento foram capazes de prever a evolução do grafo e, conseqüentemente, as notas obtidas pelos alunos. Os resultados obtidos trouxeram uma boa precisão nas notas simuladas e possibilitaram discussões sobre características do curso e seus alunos.*

1. Introdução

Perrenoud (2001) aponta em seu trabalho uma série de competências consideradas cruciais para os educadores. Dentre elas, são colocados itens como: conceber e fazer com que os dispositivos de diferenciação evoluam, elaborar mecanismos para a progressão das aprendizagens, trabalhar em equipe, organizar e estimular situações de aprendizagem. Este trabalho tem como foco o provimento de uma ferramenta que permita ao professor acompanhar os estudantes de forma diferenciada, de tal forma a apresentar relações entre o desempenho acadêmico e as disciplinas cursadas durante a graduação.

O desenvolvimento dos itens como os propostos por Perrenoud (2002) deve acarretar uma melhoria do ensino e sucesso na educação. Entre os índices de melhoria,

encontra-se o índice de evasão de alunos, que deve ser diretamente melhorado com um acompanhamento individual e diferenciado, um dos itens propostos. A evasão pode ser diagnosticada como a desmotivação oriunda da dificuldade em acompanhar o curso. Uma ferramenta que auxilie a criar correlações e aproximar o perfil do aluno com os perfis obtidos pela análise proposta neste trabalho, pode tornar a realização de um diagnóstico possível, orientando um trabalho no sentido de sanar as dificuldades e aumentar a motivação durante as atividades acadêmicas realizadas pelo estudante. Para a criação de tal ferramenta, parte-se da teoria dos grafos para construção de um modelo do curso contemplando figuras como o aluno, as disciplinas e as relações entre eles. Em seguida, modelos de crescimento de grafos são aplicados para que situações futuras possam ser previstas. Uma estimativa de desempenho de alunos pode auxiliar o professor na personalização do ensino e focar as atenções em problemas previstos pela ferramenta. Assim sendo, a ferramenta visa trazer estas informações ao educador para que elas possam ser utilizadas tal que, de um lado, ele realize uma auto-avaliação de seu trabalho e, de outro, possa diferenciar alunos possivelmente com dificuldades mais severas para serem tratados de maneira mais individualizada.

No contexto deste trabalho, o termo desempenho será considerado medido como a nota obtida nas disciplinas cursadas. A definição de modelo, segundo Gilbert e Troitzsch (2005), pode ser entendida como uma simplificação (menor, menos detalhado, menos complexo) de um sistema ou estrutura real. Ainda segundo Gilbert e Troitzsch (2005), uma simulação é um modelo de funcionamento de um sistema que possui entradas e saídas observadas durante a execução da simulação.

2. Modelagem e Crescimento de Grafo

Embora os modelos baseados na teoria dos grafos sejam amplamente utilizados, até poucos anos, pouco se falou de como se apresentam os grafos que modelam as redes reais da sociedade, redes que, em geral, possuem um grau de complexidade relativamente alto, contando com muitos nós e arestas e possuindo caráter dinâmico [Barabási 2002]. A rede real, a sociedade, é tratada em diversos estudos, como, por exemplo, o realizado por Milgram (1967). Neste experimento, realizado na década de 60, Milgram chegou à conclusão que a distância média entre duas pessoas era de 5,5 pessoas. Este número, mais tarde foi arredondado para seis, gerando a expressão “*six degrees of separation*”, gerando a falsa idéia de que duas pessoas aleatoriamente escolhidas no mundo estariam a “seis apertos de mão de distância”, mas evidenciando que as pessoas em uma sociedade qualquer mantêm um grau de relação que pode ser explorado.

Para o estudo formal de problemas envolvendo redes complexas, como a sociedade, é necessário estimar a topologia destas redes e, para isto, é interessante a análise de como elas são criadas. Observando redes complexas, principalmente a Internet, Barabási (1999) observou que nelas havia espaço para existirem poucos nós com uma quantidade muito grande de arestas, mas que a grande maioria dos nós possuía poucas arestas. Tentando criar um modelo que se adequasse a esta observação, Barabási propôs o modelo livre de escala. A idéia por trás deste modelo é o princípio: “Rico fica mais Rico”. Assim sendo, um nó com mais conexões terá uma probabilidade maior de receber novas conexões do que um nó com poucas conexões. A partir da Figura 1, pode-se verificar que, neste modelo, cada vez mais os nós iniciais ficam mais conectados,

tornando-se hubs. A relação entre o número de nós com n conexões em função de n , gera um gráfico exponencial decrescente do tipo $P(n) \sim n^{-\gamma}$, onde γ é um parâmetro dependente da rede, mas que, em geral, é entre 2 e 3 (gráfico representado na figura 1).

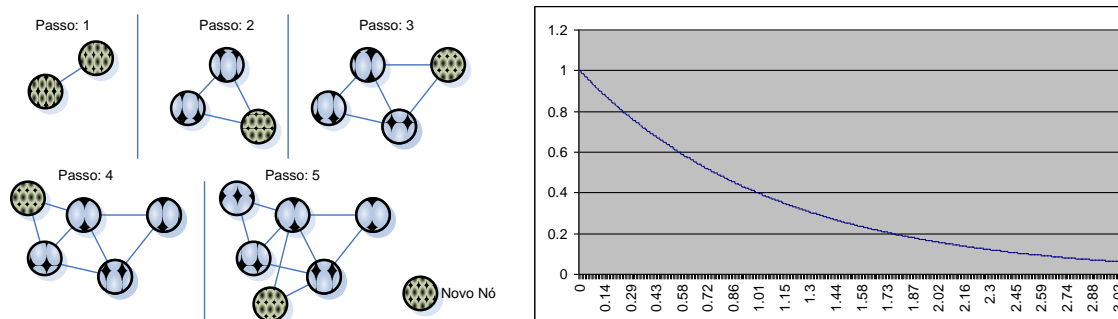


Figura 1 - Exemplo de gráfico exibindo o número de nós com n conexões para o modelo de escala livre

Como visto na Figura 1, o modelo proposto por Barabási (2002) beneficia os nós iniciais os quais tem uma chance muito elevada de se tornarem hubs.

Além da relação entre links das páginas web este modelo ainda se mostra coerente com diferentes redes existentes [Barabási 2002], como, por exemplo, a rede de aeroportos com arestas representando vôos; a ligação entre os roteadores que formam a Internet ou as redes sociais.

2.1 Modelo de Barabási com pesos – Adaptabilidade

Apesar do modelo de escala livre representar bem a topologia de redes reais, como a Internet, ele não representa com fidelidade a dinâmica destas redes. Alguns pontos importantes não são contemplados neste modelo, como, por exemplo, a exclusão de nós ou arestas, ou até mesmo a re-alocação de arestas. Barabási reconhece estes problemas e propõe um modelo que se adéqua melhor à realidade [Barabási, 2002]. A proposta deste modelo é resolver problemas que existiam no modelo de escala livre de maneira que, na realidade, nem sempre são os nós mais antigos que se tornam hubs. O exemplo citado pelo próprio Barabási, continuando ainda na relação de páginas web e os links entre elas, é o Google.

Seguindo o modelo de escala livre, não existe uma maneira de explicar como uma página mais nova, como o Google.com, adquiriu mais links que hubs que existiam antes dele. Na realidade, seguindo o modelo de escala livre, as maiores hubs da Internet seriam as primeiras páginas criadas, entretanto, hoje elas nem são conhecidas. Para resolver este problema, Barabási criou o conceito de adaptabilidade. Neste novo modelo, quando uma nova página surge, a probabilidade com que ela se conectará com outra página pré-existente é proporcional ao número de links que a página pré-existente possui, mas é multiplicada por um índice de adaptabilidade desta página. Desta forma, existe espaço para que uma página melhor adaptada, porém tardia, receba uma grande quantidade de links rapidamente, tornando-se um *hub*. O modelo Livre de Escala com e sem o fator de adaptabilidade são matematicamente formalizados, diferentemente das observações feitas por Milgram (1967). Estes modelos criados mais tarde por Barabási foram baseados em observações de redes reais e trazem características destas redes na

estrutura do modelo. Assim sendo, os modelos de Barabási, em geral apresentam uma maior semelhança com problemas reais.

3. Modelo Proposto

Para o desenvolvimento do sistema, foi necessária a idealização de um modelo que ligue os alunos e as disciplinas cursadas. O objetivo buscado nesta sessão é um modelo o mais simples possível que traga as informações relevantes para análise do problema. Para buscar um padrão no comportamento dos alunos, utiliza-se um modelo de grafo e pretende-se estudar o seu modo de crescimento, através da aplicação de modelos de redes complexas. Durante a fase de captação de dados, foram recuperados os dados referentes às frequências dos alunos, entretanto, esta informação não pareceu de grande serventia para o trabalho, pois os valores de frequência variavam muito pouco. Desta maneira, somente os valores das notas dos alunos foram considerados. Entretanto, é importante notar que outras informações sobre os alunos (socioeconômicas, informações sobre o ensino médio cursado, entre outras) poderiam ter sido levadas em conta e poderiam aumentar a precisão do método.

3.1 Modelo Inicial

No problema estudado, existem dois tipos principais de nó: as disciplinas e os alunos. Neste trabalho, são utilizadas, para modelagem das relações entre os elementos identificados, as informações facilmente obtidas através de bancos de dados da escola: as notas. A partir desta idéia, um primeiro modelo de grafo foi construído, como representado na figura 2.

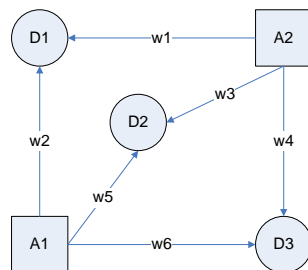


Figura 2 – Grafo proposto

Neste grafo, os quadrados representam os alunos (A1 e A2) e os círculos representando as disciplinas (D1, D2 e D3). Uma aresta criada entre um aluno e uma disciplina representa a informação de que o aluno cursou a disciplina. Arestas entre nós do mesmo tipo (alunos ou disciplinas) são proibidos neste modelo. Os pesos de cada aresta (w_i) são interpretados como notas obtidas.

3.1.1 Modelo de Faixa de Valores

Um problema do modelo inicial é que a teoria de redes complexas estuda principalmente a criação de nós e arestas e, neste modelo, o que diferencia os alunos (e as disciplinas) não é a existência das arestas em si, mas sim os pesos que eles portam. Para transferir-se a informação contida nos pesos para a simples existência (ou não) das arestas, chega-se a um segundo modelo representado na figura 3.

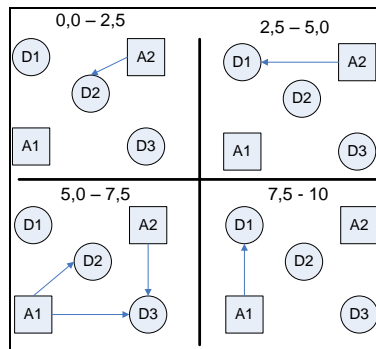


Figura 3 – Grafos resultantes da transferência de informação das arestas

Neste modelo foi possível a eliminação dos pesos dividindo cada grafo em certo número de grafos. Assim, o primeiro grafo contém arestas entre alunos e disciplinas quando o aluno tiver uma nota entre 0,0 e 2,5, o segundo entre 2,5 e 5,0 e assim por diante.

3.1.2 Modelo com um único tipo de nó

O modelo de faixa de valores consegue agregar informações simplesmente pelo fato da existência ou não das arestas. Entretanto, ainda existem problemas que dificultam a sua utilização. O fato de existirem arestas proibidas (entre nós do mesmo tipo) e tipos de nó diferentes torna o modelo desnecessariamente complexo. Desta maneira, cada grafo deste modelo é transformado em dois outros grafos, um trazendo informações sobre as disciplinas e outro sobre os alunos. O resultado para a faixa de 5,0 a 7,5 é mostrado na figura 4.

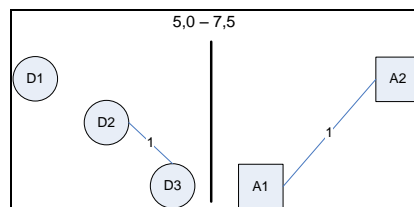


Figura 4 – Grafo com um único tipo de nó

A partir do modelo de faixa de valores, cria-se um grafo para as disciplinas onde as arestas representam que no modelo de faixa de valores existia um caminho entre elas passando por um aluno. Se o caminho é observado através de diferentes alunos, criam-se duas arestas. Isto pode ser alternativamente interpretado como um peso correspondente ao número de alunos que possibilitam o caminho entre as duas disciplinas. Esta mesma interpretação é realizada para os alunos, traçando arestas para alunos que possuíam notas semelhantes na mesma disciplina e, como anteriormente, adiciona-se o peso relativo à quantidade de disciplinas em comum. Neste modelo, as arestas (ou mais precisamente o peso delas) representam quanto um par de alunos ou um par de disciplinas são semelhantes do ponto de vista de notas.

3.2 Combinações dos grafos e similaridade

No modelo proposto no item anterior ainda é necessário extrair alguma informação simples que possa ser utilizada nos algoritmos de previsão que serão testados. No escopo deste trabalho, a análise entre as disciplinas foi descartada (devido à imprecisão

atribuída pela instituição estudada) e somente a análise do ponto de vista do aluno foi feita, como anteriormente proposto. Desta maneira, o grafo que liga as disciplinas não foi desenvolvido além deste ponto. Entretanto, notam-se as grandes similaridades existentes entre os dois grafos e, assim sendo, as informações tratadas sobre o grafo dos alunos poderiam, eventualmente, ser igualmente válidas para aquele das disciplinas. Então, os grafos a serem estudados a partir deste ponto são os que representam os alunos nas diferentes faixas de nota. Para que eles sejam transformados em um único grafo que traga uma única informação relevante ao estudo, propõe-se a seguinte manipulação:

- Os pesos das arestas ligando dois alunos A e B em todos os grafos são somados;
- Um novo grafo é formado de maneira que quaisquer nós A e B são ligados por uma aresta;
- Neste novo grafo, é atribuído um peso, calculado pela divisão do valor da soma de pesos anteriormente pela quantidade de disciplinas que ambos os alunos cursaram;

Neste grafo final obtido, os pesos são sempre valores no intervalo de 0 a 1 correspondendo à porcentagem das disciplinas em que os alunos tiveram notas na mesma faixa. Desta maneira, o valor dos pesos é considerado como uma medida de similaridade entre os alunos ligados pela aresta.

3.3. Modelos Livre de Escala Local Restrito

O modelo proposto considera que dois alunos muito semelhantes têm maior tendência de se tornarem mais semelhantes. Do ponto de vista do grafo, esta adaptação é vista em escala local e não global, ou seja, não depende diretamente da topologia geral do grafo, mas depende das ligações que o aluno simulado tem. Considerou-se neste modelo de crescimento que ao invés de todos os nós do grafo serem utilizados na média ponderada executada, apenas os nós com maiores coeficientes foram considerados. Assim sendo, a fórmula resultante é representada por:

$$N_s(a, d) = \frac{\sum_{i=0}^R c(a, i) N(i, d)}{\sum_{i=0}^R c(a, i)}$$

Figura 5 – Grafo com um único tipo de nó

Onde:

$N_s(i, j)$ é a nota simulada do aluno i , na disciplina j ;

$N(i, j)$ é a nota real do aluno i , na disciplina j (para todos que cursaram j);

$c(i, j)$ é o coeficiente de semelhança entre o aluno i e o aluno j ;

R é o total de alunos considerados (aqueles com maior coeficiente c).

A interpretação deste modelo do ponto de vista de Barabási (2002) é que as hubs do modelo livre de escala exercem grande influência sobre o nó em questão, de maneira que os outros nós, com coeficiente de similaridade (representado pela força da ligação) muito menor, podem ser desprezados.

4. Análise dos Resultados

A análise do Banco de Dados de alunos de um curso de graduação em engenharia da computação permitiu a criação do grafo segundo a modelagem proposta para os alunos e relação entre eles. Inicialmente a idéia do trabalho era também incluir uma clusterização dos alunos em grupos semelhantes. Entretanto, a partir do grafo obtido, percebeu-se que esta clusterização seria complicada, pois a topografia observada da inter-relação entre os estudantes não era simples. Como o grafo obtido possuía arestas com pesos que carregavam informações relevantes das ligações entre os alunos (um índice de similaridade), para análise do grafo do ponto de vista de Barabási (2002), foram feitas algumas considerações. Do ponto de vista de Barabási, as arestas não possuem pesos. Para que o grafo obtido pudesse ser analisado desta forma, foram consideradas somente as arestas com índice superior a 80%, ou seja, as arestas menos importantes, foram eliminadas.

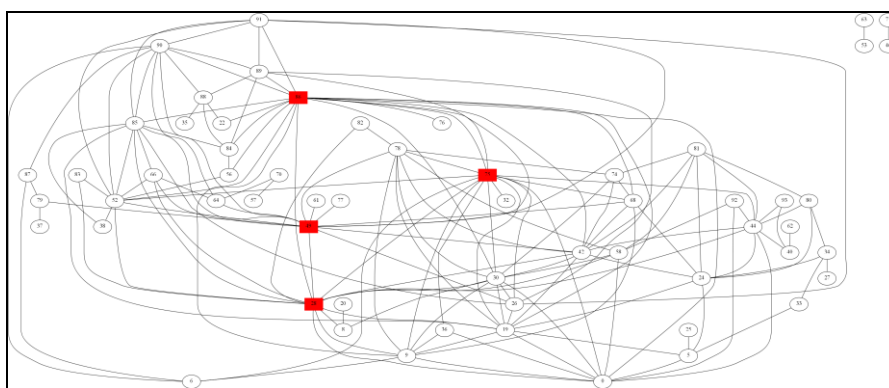


Figura 6 – Grafo obtido pela aplicação do modelo proposto

Ao mesmo tempo em que muitos nós se mostraram sem ligações, alguns nós foram evidenciados com um número bastante expressivo de ligações (as quatro hubs representadas no grafo possuem um número de ligações superior a 12). Se analisar a quantidade de arestas que cada nó possui, como propõe Barabási (2002), obtém-se o gráfico da Figura 7, que mostra a quantidade de nós em função da quantidade de arestas que elas possuem.



Figura 7 – Número de nós por quantidade de arestas

Este gráfico evidencia o caráter do modelo Livre de Escala do problema se assemelhando bastante com os gráficos típicos deste modelo. Desta maneira, justifica-se a escolha de utilizar modelos baseados nas idéias do modelo de Barabási (2002). Entretanto, se ao invés de serem consideradas apenas as arestas com mais de 80% de

coeficiente, todas as arestas forem consideradas e, ao invés de manter-se o valor de 1 por aresta atribuir-se o peso da aresta, o mesmo gráfico mostra um comportamento diferente (figura 8).



Figura 8 – Número de nós por soma dos coeficientes das arestas

O gráfico da figura 8 possui um comportamento muito diferente do anterior. Na realidade, ele se assemelha muito mais aos gráficos típicos de problemas com características de variáveis aleatórias. Dependendo dos parâmetros escolhidos, percebe-se que o caráter do modelo livre de escala do problema não é absoluto e, portanto, deve ser utilizado com cautela durante as simulações. A adequação do modelo de escala livre restrita mostra que parece existir uma ligação preferencial no problema, pois claramente os alunos mais semelhantes possuem uma influência maior na nota simulada, mostrando a preferência da aresta ser criada ligando estes nós. No entanto, há uma dependência do parâmetro que determina a quantidade de alunos considerados na simulação. O resultado observado na simulação mostrou que o modelo é mais efetivo quando são considerados cerca de 10% dos alunos da base no cálculo da média, no caso, oito em uma base de 94 alunos (8,5% da base). Na figura 9, são mostrados os erros médios observados nos modelos estudados, incluindo diferentes parâmetros de número de nós considerados no modelo Livre de Escala Local Restrito.

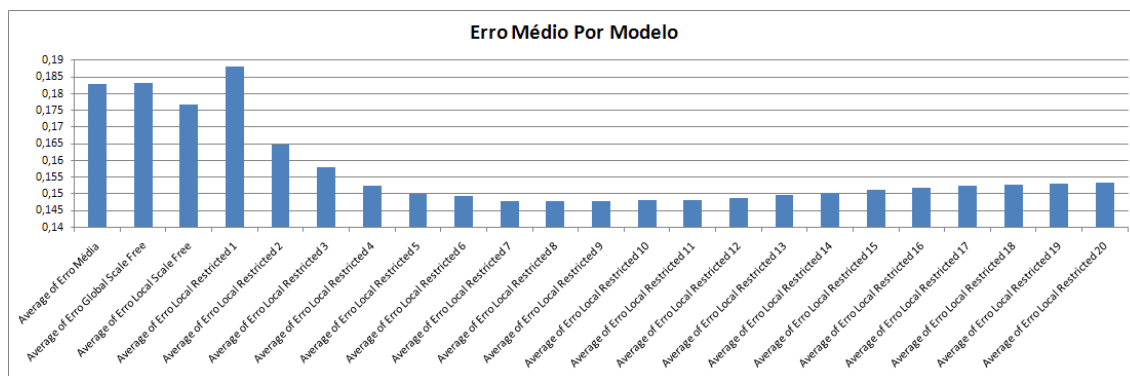


Figura 9 – Erro médio por simulação

Na realidade, as redes propostas por Barabási (2002) possuem outra característica que é igualmente importante para a criação de um grafo com a topologia exponencial típica: eles trazem uma seqüência de criação dos nós. Nos grafos típicos de redes complexas livres de escala, existem os nós que são criados inicialmente e que se tornam hubs por serem os nós mais antigos. No caso do problema estudado, o grafo modelado não possui a noção de seqüência, pois todos os nós são comparados e ligados com todos os outros ao mesmo tempo. Isso ocorre porque um aluno formado em um ano posterior que entra no grafo poderá se ligar com todos os outros nós, eliminando a relação temporal. Esta diferença pode ser a causa de, apesar de existir a ligação

preferencial, não serem observados gráficos de problemas livres de escala estudados em redes complexas. Ao truncar os valores dos coeficientes de similaridade de forma que todos os valores acima de 0,8 serem considerados como valor unitário e todas as outras arestas desconsideradas, obtém um grafo típico do modelo livre de escala.

4.1 Resultado do ponto de vista das disciplinas

Do ponto de vista das disciplinas, existe uma grande variação nos valores médios dos erros observados (variando de 3,6% a 100%). Entretanto, percebe-se que as disciplinas com valores de erro médio elevados foram observadas para situações com problemas pontuais que introduziram um erro elevado. Na realidade, tanto as disciplinas com erros muito pequenos quanto as disciplinas com erros elevados (com erros pontuais eliminados) podem ter problemas na atribuição das notas. Erros muito pequenos podem ter sido inseridos por uma pequena variação nas notas atribuídas. Se, para uma disciplina, todos os alunos tirassem a mesma nota sempre, não haveria problemas de previsão (a mesma nota seria facilmente prevista), de forma que o erro se aproxime do zero. Entretanto, do ponto de vista de avaliação, atribuir sempre a mesma nota a todos os alunos parece inadequado.

Por outro lado, da maneira como são construídos os modelos, exceto os erros pontuais, um erro médio grande para uma dada disciplina deve significar que ela não possui grande relação com as outras disciplinas do currículo ou que a avaliação apresenta algum grau de discrepância com os resultados obtidos em outras disciplinas.

4.2 Resultado do ponto de vista dos alunos

Do ponto de vista de alunos percebe-se que há certa variação entre os erros obtidos nas simulações; entretanto, ao se considerar as razões para esta variação, chega-se à conclusão de que ela não é tão elevada. O gráfico da figura 10 mostra os erros obtidos para os oito alunos simulados (os alunos são identificados por seus números de identificação no sistema, de 94 a 101).

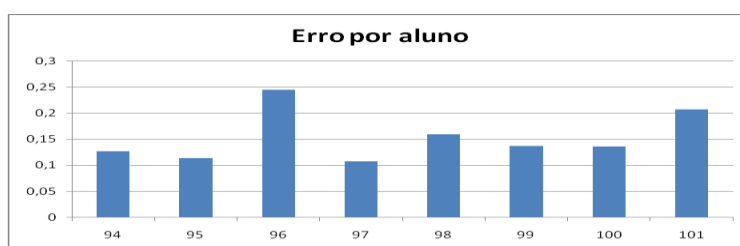


Figura 10 – Erro médio encontrado por aluno simulado

Os três primeiros eram alunos selecionados aleatoriamente entre as turmas que já faziam parte do banco de dados de alunos, os outros cinco são alunos que, no momento da redação deste documento, se encontram no quinto ano do curso e que não fazem parte das turmas presentes no banco de dados. Em uma análise inicial, imaginar-se-ia que os três primeiros alunos simulados deveriam ter uma taxa de erro menor. Seria natural, pois estes alunos fizeram os mesmos oferecimentos das disciplinas, resolveram as mesmas provas, com os mesmos professores que os alunos no banco de dados. Entretanto, analisando o gráfico obtido, nota-se que isto não ocorre. Os três primeiros alunos simulados apresentam erros na mesma faixa que os cinco demais. Esta é uma

informação importante para o sistema, pois em uma utilização real, o caso seria mais próximo aos últimos cinco alunos do que aos primeiros (já que se deseja simular eventos que ainda não ocorreram). O fato de que o erro não varia significativamente, se considerarem alunos que cursam as disciplinas em anos subsequentes, mostra que não há uma grande variação entre os oferecimentos das disciplinas em anos consecutivos.

5. Considerações Finais

O trabalho elaborou quatro modelos que foram analisados e testados, trazendo resultados interessantes em sua análise. O modelo com melhor resultado, o Livre de Escala Local Restrito, mostrou erros na faixa de 10% para a maior parte dos casos, obtendo uma média na faixa de 14% considerando os casos de erros pontuais. Acredita-se que este trabalho possa ser utilizado em instituições de ensino para prever problemas e ajudar a instituição a prover um ensino mais personalizado e de maior qualidade, segundo os conceitos apresentados por Perrenoud (2002). Além disso, o sistema criado pode prover certa medida de dedicação de um aluno em uma disciplina, pois, se o aluno excede consideravelmente a nota prevista, provavelmente, houve uma dedicação mais especial à disciplina.

Durante o trabalho, observou-se também as limitações do modelo ao tentar prever um resultado complexo e dependente de muitas variáveis, através de um modelo relativamente simples. Em casos de erros de maior valor, mostrou-se que alguns parâmetros, que não estavam contemplados no escopo do projeto, podem inserir uma grande variação nos resultados, mas que na maior parte dos casos, estes parâmetros podem ser ignorados para um erro razoavelmente pequeno na simulação.

Por fim, apesar de não fazerem parte do escopo principal deste trabalho, algumas considerações foram feitas a respeito das disciplinas do curso, mostrando que o sistema desenvolvido pode ajudar a avaliar um curso superior, mostrando as características individuais e também as relações entre as disciplinas.

Referências

Perrenoud P. (2001) Dez novas competências para uma nova profissão. *Faculté de psychologie et des sciences de l'éducation. Université de Genève.*

Perrenoud, P. (2002) Os sistemas educativos face às desigualdades e ao insucesso escolar: uma incapacidade mesclada de cansaço. *Faculté de psychologie et des sciences de l'éducation. Université de Genève.*

Gilbert, N; Troitzch (2005) K. *Simulation for the Social Scientist.*

Barabási, A.L. *Linked (2002)– How Everything is Connected to Everything Else and What It Means for Business, Science and Everyday Life.,.*

Milgram, S. (1967) The small world problem. *Psychology Today* 2, 60--70.