

# Estudo sobre métrica avaliativa da aprendizagem: uma integração entre lógica de fuzzy, mapa conceitual e taxonomia educacional

Naira Vincenzi da Silva  
Universidade Federal de Uberlândia  
navincenzi@yahoo.com.br

Elise Mendes  
Universidade Federal de Uberlândia  
elise@ufu.br

João Bosco da Mota Alves  
Universidade Federal de Santa  
Catarina  
jbosco@egc.ufsc.br

## ABSTRACT

This article is a preliminary study to establish a means of evaluating the amount of learning that integrates conceptual mapping and Bloom's revised taxonomy, to be applied in knowledge systems for the course of study: Domus Procel Edifica. It describes the line up of the concept maps and the knowledge matrix of the study. This provides the ability to explore the complexity levels of interdisciplinary knowledge identified in the structure of progressive differentiations of the concept map and the cognitive processes required for learning knowledge. This integration enables the assessment of weights associated with the categories of conceptual and procedural knowledge required for formative and summary evaluation, relating them to the evaluation metric intervals according to fuzzy logic practice. This study may contribute to the development of a knowledge system to enable an evaluation trace of the concepts assimilated and identify misconceptions. It may provide *feedback* of individualized concepts to be reviewed and to guide the student in learning concepts with levels of complexity according to the topology of the conceptual map.

## RESUMO

Esse artigo é um estudo preliminar de criação de uma métrica de avaliação da aprendizagem que integra mapas conceituais e taxonomia revisada de Bloom, a ser aplicada em sistemas de conhecimento para os Cursos do Software Domus Procel Edifica. Descreve-se o alinhamento de mapas conceituais e matriz de conhecimento do curso, de forma a explorar os níveis de complexidade dos conhecimentos interdisciplinares identificados na estrutura de diferenciações progressivas do mapa conceitual e os processos cognitivos requeridos para a aprendizagem dos conhecimentos. Essa integração possibilitou a inferência de pesos associados às categorias dos conhecimentos conceituais e procedimentais para a avaliação somativa e formativa, relacionando-as aos intervalos métricos avaliativos de acordo com a lógica de fuzzy. Esse estudo pode contribuir no desenvolvimento de um sistema de conhecimento avaliativo ao possibilitar um rastreamento dos conceitos assimilados e identificar erros conceituais, oferecendo um *feedback* individualizado dos conceitos a serem revistos e orientando o estudante para a aprendizagem de conceitos com níveis de complexidade de acordo com a topologia do mapa conceitual.

## Categories and Subject Descriptors

General terms, Design.

## Keywords

Mapas Conceituais. Taxonomia Objetivos Educacionais. Lógica de Fuzzy. Avaliação. Sistema de Conhecimento.

## 1. EXTENDED ABSTRACT

De forma geral, os profissionais da área de Educação a Distância reconhecem a importância de serem criados sistemas de conhecimento avaliativo que estimulem a auto-regulação da aprendizagem em qualquer tempo e espaço [3,4,5,8,9,11]. Com esse propósito, desenvolvem instrumentos computacionais de ensino (*computer based instruction tool*), tais como os Sistemas de Tutores Inteligentes (STI), com o objetivo de oferecer *feedback* individualizado que direcione à aprendizagem eficiente.

Os pesquisadores de STI estão buscando cada vez mais integrar metodologias de programação às avaliações formativa e somativa em seus trabalhos, com o intuito de melhorar a comunicação e oferecer *feedback* quantitativo e qualitativo da aprendizagem [7,12]. Nas pesquisas de STI, destacam-se os trabalhos de Hwang [6] que utiliza mapas conceituais em tutores inteligentes para aprendizagem em matemática. No artigo "*A conceptual map model for developing intelligent tutoring systems*", o autor apresenta um sistema computacional de tutoria inteligente que realiza testes de verificação de aprendizagem por meio da identificação da assimilação conceitual pelo rastreamento no mapa conceitual, oferecendo dados estatísticos de acertos e erros, bem como um *feedback* da avaliação qualitativa que indica qual o nível de conceito que o estudante se encontra e a ordem dos conhecimentos prévios necessário para aprender a nova informação.

Considerando a importância do desenvolvimento de sistema de conhecimento avaliativo que estimule a auto-regulação da aprendizagem e o direcionamento do ensino em ambientes computacionais, esse estudo tem como hipótese que a lógica de fuzzy integrada ao alinhamento dos mapas conceituais curriculares e taxonomia revisada de Bloom pode oferecer um suporte para a inferência de pesos avaliativos (quantitativo e qualitativo) aos processos cognitivos requeridos na aprendizagem individual.

A primeira hipótese é que a estrutura do mapa conceitual [11] com identificação de níveis de conhecimento por diferenciações progressivas e reconciliações integrativas pode oferecer um fio condutor para a aprendizagem significativa proposicional, segundo Ausubel [2] (dos conhecimentos mais inclusivos para os

mais específicos). A segunda hipótese é que essa distribuição dos conteúdos curriculares por meio de mapa conceitual alinhada aos conhecimentos e níveis de complexidade dos processos cognitivos categorizados pela taxonomia revisada [1], possivelmente oferecerá inferência de pesos (valores) para uma métrica de avaliação quantitativa da aprendizagem individual. E a terceira hipótese é que a lógica de fuzzy [5,13] contribuirá para criação de intervalos métricos para oferecer *feedback* da avaliação quantitativa e quantitativa da aprendizagem do estudante.

A partir dessas hipóteses, esse trabalho descreve um modelo para criação de um sistema de conhecimento avaliativo originado do alinhamento de mapas conceituais e níveis de complexidade dos processos cognitivos requeridos, que parametriza a avaliação somativa e formativa por intervalos métricos de acordo com a lógica de fuzzy – um modelo que pode oferecer *feedback* rápido para autorregularão da aprendizagem significativa em qualquer tempo e espaço.

## 2. METODOLOGIA

Essa pesquisa é um estudo de caso qualitativo para a criação de modelo de métrica avaliativa da matriz curricular do curso do Domus - software de simulação termoenergética de edificações que tem como objetivo contribuir como Instrumento de Apoio à Eficiência Energética de Edificações (EEE) no Brasil. A metodologia se organiza em dois processos: 1. Construção Cooperativa de Mapas Conceituais; 2. Alinhamento entre Conteúdos, Processos Cognitivos, Exercícios e Avaliação;

### 2.1. Construção Cooperativa de Mapas Conceituais

Como primeiro procedimento metodológico, foram criados mapas conceituais interdisciplinares, de forma cooperativa e a distância, que integravam o software Domus de simulação termoenergética com os conhecimentos conceituais da física das edificações e arquitetura Bioclimática e regulamento técnico de qualidade para etiquetagem de edificações comerciais no Brasil (RTQ-C). Para a produção do mapa conceitual, utilizou-se a ferramenta *Cmaptools* [14] devido à possibilidade do trabalho síncrono e assíncrono.

Após as reflexões dos conceitos que envolviam a simulação termoenergética e constantes reestruturações do mapa conceitual curricular interdisciplinar - 18 a 20 mapas em três meses, foi possível a identificação de três categorias da simulação do Domus em relação ao desempenho termoenergético em edificações: 1) Aspectos Construtivos - relaciona conceitos da geometria da edificação – envoltório, 2) Aspectos Ambientais - características externas que influenciam diretamente no interior de uma edificação, e 3) Aspectos de Uso – ocupação - configuração - ganhos internos (equipamentos, geração de vapor, iluminação, pessoas e suas atividades de ocupação e mobiliário). Dessas três categorias, foram criadas malhas conceituais relacionadas à criação do Envoltório em projeto de edificação. Essas malhas conceituais integram o Domus à, Física das Edificações, Arquitetura Bioclimática e RTQ.

Na figura 1, tem-se a versão final do mapa conceitual dos conceitos interdisciplinares do Domus e da Envoltória na RTQ-C.

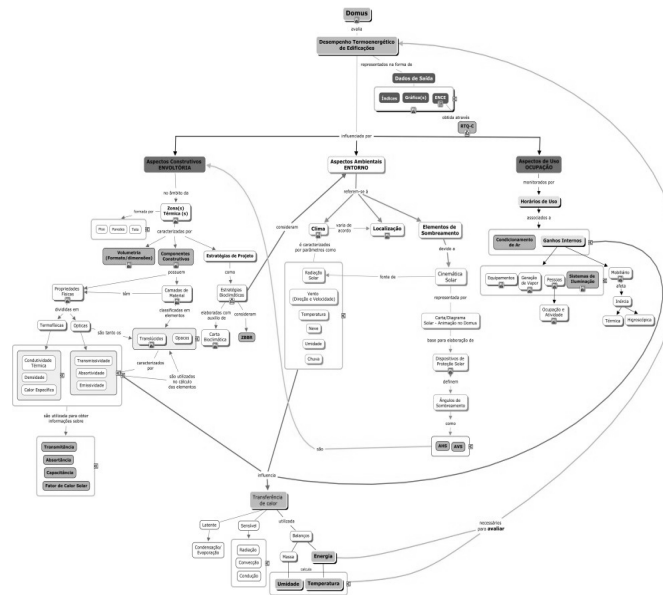


Figura 1. Mapa curricular interdisciplinar do Domus relacionado ao Envoltório.

Nessa versão final do mapa, o desempenho termoenergético de edificações é representado por três malhas conceituais: Aspectos Construtivos, Aspectos do Entorno e Aspecto de Uso e Ocupação.

Os conceitos dos Aspectos Construtivos e de Uso são configurações e requisitos dos Dados de Entrada do software Domus relacionados com a geometria da edificação e de ocupação. A malha conceitual dos Aspectos Ambientais refere-se aos Parâmetros de configuração do entorno para a simulação.

A relação dessas três malhas conceituais influencia a Transferência de Calor que possui variáveis importantes (Energia, Umidade e Temperatura) para avaliar o Desempenho Térmico Energético de Edificações.

### 2.2. Alinhamento entre Conteúdos, Processos Cognitivos, Exercícios e Avaliação

A estrutura do mapa conceitual foi importante para identificar e delinear os conhecimentos a serem ensinados no Curso piloto do Domus, pois sua organização em diferenciações progressivas possibilitou a elaboração da matriz curricular de conteúdos e o alinhamento entre conhecimentos e processos cognitivos necessários à aprendizagem procedimental do Domus.

Os conhecimentos procedimentais podem ser classificados nas seguintes Categorias do Processo Cognitivo de Aplicar [1]:

- 1 - **Executar (Resolver Exercícios):** exercícios familiares – o estudante executa um procedimento quando confrontado com uma tarefa familiar
- 2 - **Implementar (Solucionar Problema):** exercícios não familiares – requer algum nível de entendimento do problema tanto quanto procedimento de solução. O conhecimento conceitual é pré-requisito para ser capaz de aplicar o conhecimento procedimental.

As categorias do processo cognitivo Aplicar podem ser exploradas em níveis de complexidades de acordo com os seguintes processos cognitivos [1]:

1- **Executar:** sequência de passos a serem seguidos como: habilidades, técnicas e métodos.

- **Conhecimentos de habilidades de conteúdos Específicos:** exercícios de rotina como resultados fixos – memorização de telas.
- **Conhecimentos de Técnicas específicas e Métodos:** depende de vários fatores e do conhecimento de como aplicar em diferentes contextos.

2- **Implementar:** Conhecimentos /conhecer os critérios usados para determinar quando usar vários procedimentos (como, quando usar e onde).

- **Conhecimento de critérios para determinar quando usar um procedimento apropriado – uso apropriado.**

Para conhecimento de procedimentos específicos, é esperado do estudante os conhecimentos de **quando** usá-los – procedimentos específicos, no qual isso, frequentemente envolve conhecimentos de quais caminhos tem usado isso no passado.

Antes do aluno se engajar em uma solução deve ser esperado dele conhecimentos de métodos e técnicas, que deve ser usada em investigações similares. Conhecimento de critérios de **onde** e **quando** aplicar os seus conhecimentos e usar os diferentes tipos de procedimentos, em situações de problemas concretos, mostrando as relações entre os métodos empregados para a solução de um problema e os métodos empregados para outras situações propostas.

A categorização dos três Níveis de complexidade da aprendizagem foram referências para a elaboração dos conteúdos e exercícios. Após a identificação dos níveis de complexidade, criamos uma tabela, que alinha conteúdos, processos cognitivos, exercícios e avaliação (figura 2).

CURSO DOMUS				
DADOS DE ENTRADA (o que simular)	Conhecimentos de habilidades de conteúdos Específicos	Exercícios	Pesos	Exercícios e Pesos
	Objetivos - Lembrar e Executar			
EDIFICAÇÃO (Edição e Visualização)	Identificar a taxa máxima de ocupação de um terreno e utilizar o domus	1. Criar	0,5	4. MODELANDO UM PROJETO DE ARQUITETURA (0,8)  11. CRIAR A GEOMETRIA E CONFIGURAR O QUE SE PEDE. (1,0)
	Zonas Térmicas	Reconhecer a importância de dividir um edifício em multizonas	2. Multizonas	
Envolτήριο/Elementos	Identificar a posição geográfica e adicionar diferentes aberturas em diferentes fachadas e na cobertura	1. Estrutura	0,5	
		5. ZONAS e RTQ	0,5	
Aberturas (Janela e Porta)	Lembrar o que é uma proteção solar e executar no Domus	6. Janelas	0,5	
	Identificar a relação entre a área de abertura e área de piso de um ambiente e executar no Domus	7. Portas, aberturas e proteção	0,8	
GANHOS INTERNOS	Identificar os ganhos internos de uma situação proposta, diferenciando-os em equipamentos, pessoas, iluminação, e executar no Domus, segundo sua configuração de horário	8. ZBB e aberturas	0,5	
		12. Conf. Ganhos internos e horário	0,5	
Equipamentos, Geração de Vapor, Pessoas, CLIMATIZAÇÃO (HVAC)				
Condicionamento de Ar				
Aquecimento Elétrico				
Identificação Mecânica				
Equipamento Evaporativo				
ENERGIA				

Figura 2. Parte da matriz dos objetivos – Dados de Entrada – relação dos exercícios propostos - conhecimentos de habilidades de conteúdos específicos com inferência de pesos

Nessa figura, tem-se uma parte da matriz dos objetivos propostos relacionados aos exercícios e os pesos propostos de acordo com o

esforço cognitivo exigido para sua resolução. Por exemplo, na coluna de Exercícios e Pesos, visualiza-se que no exercício 4 “Modelando um Projeto de Arquitetura” envolve os conceitos de zonas térmicas e inserção de aberturas, tendo como pré-requisito todos os processos cognitivos referentes a esses tópicos, por esse motivo esse exercício tem o peso maior que os demais.

Além dos pesos dos exercícios de cada categoria, foram definidos pesos diferenciados para as três categorias, já que essas possuem diferentes Níveis de complexidades (Figura 3).

NIVEL III	1ª Categoria	2ª Categoria	3ª Categoria
NIVEL II	1ª Categoria (P1 = 0,4)	2ª Categoria (P2 = 0,6)	
NIVEL I	1ª Categoria		
	Conhecimentos de habilidades de conteúdos Específicos	Conhecimentos de Técnicas específicas e métodos	Conhecimento de critérios para determinar quando usar um

Figura 3. As três categorias dos conhecimentos procedimentais com a associação dos Níveis e a respectivas inferências dos pesos .

Na parte superior são apresentadas a abrangência e exigência a ser considerada nos cálculos em cada nível, mantendo a relação progressiva de complexidade dos conteúdos procedimentais do Domus e objetivos instrucionais definidos: Nível I: categoria 1, Nível II: categorias 1 e 2 e Nível III: categorias 1,2 e 3. Seguindo as relações progressivas das categorias, foi realizada uma exemplificação de aplicação com um teste de 10 exercícios para cada categoria, incluindo a representação da pontuação obtida em cada questão e o total obtido pelo estudante X. Esse procedimento possibilitou calcular e identificar o percentual total dos pontos alcançados pelo estudante em cada Nível exigido no curso (Figura 4).

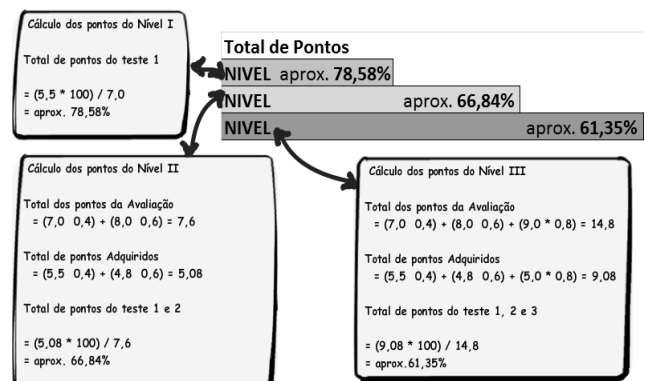


Figura 4. Cálculo dos pontos em cada Nível com o percentual total

Em qualquer nível pode ser apresentado um percentual quantitativo de acertos e um *feedback* geral que orienta o estudante a gerenciar sua aprendizagem, identificando erros e perdas conceituais.

Para a parametrização desse *feedback* geral a ser enviado ao término de cada Nível, foram definidos intervalos de classificação métrica (Figura 5). Para esse processo, utilizou-se a Teoria da Lógica Fuzzy por permitir soluções aproximadas, ou seja, auxilia a determinação do “grau” cognitivo que o estudante se encontra nesse contexto interdisciplinar exigido para a

aplicação do *software* Domus. A definição do grau cognitivo possivelmente contribuirá na identificação e direcionamento das próximas atividades a serem realizadas pelo estudante para que suas dificuldades de aprendizagem sejam sanadas.

Classificação para a Métrica Avaliativa		
< 40%	Baixo	☹️ <b>Rendimento baixo!</b> Rever os feedbacks específicos, apresentados em cada questão, executando os passos propostos a fim de adquirir os conhecimentos necessário - pré requisito - para o próximo nível. <b>Atenção:</b> a observação geral é muito importante para melhorar o seu desempenho.
40 a < 50%	Razoável	😐 <b>Rendimento básico.</b> É preciso melhorar. Veja os feedbacks específicos apresentados e recorde os conceitos indicados.
50 a < 80%	Bom!	😊 <b>É possível melhorar ainda mais.</b> Veja os feedbacks específicos apresentados e recorde os conceitos indicados. Revendo os feedbacks é possível explorar e adquirir mais conhecimentos.
≥ 80%	Excelente!!	😄 <b>Parabéns pelo bom desempenho.</b> Seus esforços foram reconhecidos. Continue explorando o material disponível para o curso e adquirira mais conhecimentos.
Para todos os estudantes		
<b>Observação Geral</b>		Recorra ao mapa conceitual para ver todos os conceitos prévios necessários para avançar no seu aprendizado.

**Figura 5. Exemplificação da aplicação da lógica de fuzzy para classificação métrica do percentual total adquirido pelo estudante.**

Cabe ressaltar que o progresso para a próxima etapa não significa que o aluno compreendeu os conceitos anteriores. Por exemplo, analisando o exemplo apresentado, na figura 4, o estudante X recebeu uma boa pontuação no Nível I (78,58 %), no entanto foi diminuindo o seu rendimento nos Níveis mais avançados. Essa queda de rendimento sinaliza que os conceitos anteriores não estavam bem compreendidos, haja vista que os Níveis mais avançados resgatam conceitos e procedimentos dos Níveis anteriores. Assim, a avaliação não é simplesmente modular e sequenciada, e, sim, uma integração que envolve relações conceituais entre as categorias dos exercícios.

### 3. CONCLUSÕES

O alinhamento de mapas conceituais com os processos cognitivos da taxonomia de Bloom, de forma a explorar os níveis de complexidade dos conhecimentos e processos cognitivos requeridos para aprendizagem, oferece um modelo para avaliação da aprendizagem significativa. E a aplicação da lógica de fuzzy ao alinhamento do mapa conceitual e processos cognitivos, proporciona um modelo de avaliação somativa e qualitativa que possivelmente poderá ser aplicado em sistemas de conhecimento para oferecer uma avaliação rápida dos processos de aprendizagem e *feedback* que identificam erros conceituais e direcionam para a auto regulação da aprendizagem de conceitos de acordo com a estrutura cognitiva do estudante e da sequencia conceitual do mapa curricular.

### 4. REFERÊNCIAS

[1] Anderson, L.W. et al. (2001) A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives. New York: Longman.

[2] Ausubel, David P., Novak, Joseph D. e Hanesian, Helen. (1980) Psicologia educacional. Tradução: Eva Nick. Rio de Janeiro: Editora Interamericana Ltda.

[3] Bell, B. e Cowie, B. (2001). The Characteristics of Formative Assessment in Science Education. Science Education, 85, pp. 536-553. Disponível em: <<http://edtl4480.bgsu.wikispaces.net/file/view/Formative+assessment.pdf>>. Acesso em: 03set. 2013.

[4] Creswell, John W. (2008) Education research: planning, conducting, and evaluating quantitative and qualitative research. Pearson Education, Inc. 3rd ed. Cap. 18, pp. 596-609.

[5] Fabienne, M. van der Kleij. et al. (2012) Effects of feedback in a computer-based assessment for learning. Computers & Education, v. 58, Issue 1, p. 263-272, ISSN 0360-1315, 10.1016/j.compedu.2011.07.020. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360131511001783>>. Acesso em: 28 mar. 2012.

[6] Hwang, Gwo-Jen. (2003) A conceptual map model for developing intelligent tutoring systems. Computers & Education, v 40, Issue 3, pp. 217-235. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360131502001215>>. Acesso em: 23 mar. 2012.

[7] Mark, M. A. and Greer, J. E. (1993) Evaluation methodologies for intelligent tutoring systems. Journal of Artificial Intelligence and Education, 4(2/3), pp.129-153.

[8] Nicol, David. (2007) E-assessment by design using multiple-choice tests to good effect. Journal of Further and Higher Education, v.31, n. 1, pp. 53-64 /Universidade de Strathclyde, no Reino Unido - Disponível em: <[http://www.reap.ac.uk/reap/public/papers/MCQ\\_paperDN.pdf](http://www.reap.ac.uk/reap/public/papers/MCQ_paperDN.pdf)>. Acesso em 09 mar. 2012.

[9] Nicol, David. (2007) Principles of good assessment and feedback: Theory and practice. Online Conference on Assessment Design for Learner, pp. 29-31. Disponível em: <[http://www.york.ac.uk/media/staffhome/learningandteaching/documents/keyfactors/Principles\\_of\\_good\\_assessment\\_and\\_feedback.pdf](http://www.york.ac.uk/media/staffhome/learningandteaching/documents/keyfactors/Principles_of_good_assessment_and_feedback.pdf)>. Acesso em: 06 mar. 2012.

[10] Novak, J. D. & A. J. Cañas. (2008) The Theory Underlying Concept Maps and How to Construct and Use Them. Technical Report IHMC CmapTools, 2006-01, Rev 01-2008, Florida Institute for Human and Machine Cognition. Disponível em: <<http://cmap.ihmc.us/Publications/ResearchPapers/TheoryUnderlyingConceptMaps.pdf>> Acesso em: 11 dez. 2009.

[11] Rich Jr, John D., Colon, Arabia N., Mines, Dominique and Council, Chante. (2013) Learner-centered assessment strategies for greater student retention. Universal Journal of Education and General Studies. Vol. 2(6) pp. 196-199. Disponível em: <<http://www.universalresearchjournals.org/ujegs/pdf/2013/June/Rich%20et%20al.pdf>>. Acesso em 03 set. 2013.

[12] Victor, R., Gianluigi, C.R.H.D. (1994) The goal question metric approach. Disponível em: <<http://www.cs.toronto.edu/~sme/CSC444F/handouts/GQM-paper.pdf>>. Acesso em: 27 fev. 2012.

[13] Zarandi, M. H. F., Khademian, M. and Minaei-Bidgoli, B., "A Fuzzy Expert System Architecture for Intelligent Tu-toring Systems: A Cognitive Mapping Approach," Journal of Intelligent Learning Systems and Applications, Vol. 4, No. 1, pp. 29-40, 2012. Disponível em: <<http://migre.me/fXAdt>>. Acesso em 05 set. 2013.