

PLANEJAMENTO E ANÁLISE DE SESSÕES COLABORATIVAS UTILIZANDO TEORIAS DE APRENDIZAGEM E ONTOLOGIAS

Seiji Isotani

The Institute of Scientific
and Industrial Research
Osaka University - Japan
isotani@acm.org

Riichiro Mizoguchi

The Institute of Scientific
and Industrial Research
Osaka University - Japan
miz@ei.sanken.osaka-u.ac.jp

Resumo: Atualmente, existem diversas teorias de aprendizagem que contribuem para a melhor compreensão e ao suporte à aprendizagem colaborativa. Contudo, existem muitas dificuldades em utilizá-las durante o planejamento e a análise de atividades em grupo devido a complexidade e ambigüidade das mesmas. Além disso, raramente encontramos modelos que oferecem suporte ao desenvolvimento de ferramentas que facilitam o uso destas teorias em ambientes colaborativos. O principal objetivo deste trabalho é construir um modelo baseado em ontologias que auxilie na análise das interações entre indivíduos e no planejamento apropriado de atividades para o grupo oferecendo recomendações baseadas nas teorias de aprendizagem. Através deste modelo nos mostramos como é possível analisar e planejar sessões efetivas de aprendizagem colaborativa propondo tarefas e objetivos com justificativas teóricas.

Palavras-Chave: aprendizagem colaborativa, CSCL, engenharia de ontologias, planejamento instrucional, análise de interação.

Abstract: Nowadays, there are several learning theories that contribute to a better understanding and supporting of collaborative learning. However, it is very difficult to use such theories during the designing and the analysis of group activities due to their complexity and ambiguity. Further-more, rarely we find models that support the development of tools that help the use of these theories in collaborative environments. The main objective of this work is to build a model based on ontologies that aids the analysis of interactions among individuals and the effective design of activities for a group offering recommendations based on learning theories. Through this model we show how it is possible to analyze and to design effective collaborative learning sessions proposing tasks and goals supported by theoretical justifications.

Keywords: collaborative learning, CSCL, ontological engineering, instructional design, interaction analysis.

1. INTRODUÇÃO

Hoje em dia, o ensino colaborativo é uma técnica muito utilizada em salas de aula e em ambientes de e-learning. Apesar disso, existem muitas dificuldades por parte dos professores/instrutores (mesmo aqueles especialistas em ensino colaborativo) em planejar sessões efetivas de aprendizagem colaborativa e analisar os processos de

interação entre os aprendizes, capturando o que realmente acontece em cada sessão. Isto ocorre devido a complexidade inerente do problema, mas principalmente, devido a falta de modelos que permitem a representação e a análise de uma sessão colaborativa [12].

Diversas teorias de aprendizagem contribuem para o profundo entendimento e ao suporte à aprendizagem

colaborativa (por exemplo, *Peer Tutoring*, *Anchored Instruction*, etc). Contudo, de modo semelhante à falta de modelos para representar atividades colaborativas, raramente encontramos modelos que permitem a explícita representação dessas teorias. Uma das principais razões é a dificuldade de compreender as teorias devido à complexidade e a ambigüidade na forma como são descritas [10;11;12]. Diferentes teorias podem descrever a mesma situação usando diferentes terminologias. Além disso, cada teoria possui sem próprio ponto de vista, foco teórico, nível de profundidade, além de diversos outros aspectos quem necessitam ser considerados.

Devido a esta falta de suporte, o uso da aprendizagem colaborativa no ensino (presencial ou a distância) não é eficaz para todos os aprendizes de um grupo. Como bem observa Fuks et al. [8], freqüentemente durante atividades interativas, por exemplo através de um *chat* online, os participantes não conseguem acompanhar as discussões e acabam não absorvendo o conteúdo necessário nem adquirindo os benefícios desejados.

Para resolver os problemas de interação, muitos educadores acreditam que seja essencial que cada participante de um grupo atue conforme um determinado papel (*role*) como, por exemplo, tutor, tutelado, assistente, ajudante, etc [11]. Os benefícios educacionais que um participante do grupo obtém durante atividades colaborativas dependem, principalmente, de quão eficaz foram suas interações e qual foi (ou quais foram) o papel deste participante dentro do grupo. Assim, ressaltamos que a relação entre o papel representado pelo aluno e as interações realizadas por ele para adquirir certos benefícios durante atividades colaborativas é de fundamental importância, pois se um aprendiz atuar de forma inapropriada, considerando seu estágio de conhecimento e habilidade, grande parte de seu esforço pode não trazer nenhum benefício. Portanto, para propor atividades colaborativas de forma efetiva, é fundamental compreender as interações entre indivíduos [6;10].

Embora existam muitos resultados em pesquisas relacionadas com a avaliação/análise de sessões colaborativas, muitos consideram apenas a qualidade dos resultados do grupo como um “bom” critério [3]. Contudo, segundo Dillenbourg [6], a chave para entender a aprendizagem colaborativa está em compreender a riqueza das interações entre os indivíduos. Assim, para proporcionar uma sessão efetiva de aprendizagem colaborativa, estabelecendo parâmetros (objetivos e tarefas) adequados para cada aprendiz, necessitamos de modelos que representem uma sessão colaborativa baseada nas interações entre os indivíduos.

Com o intuito de resolver os problemas apresentados, este trabalho utiliza-se de técnicas provindas da engenharia de ontologias para estabelecer modelos típicos de sessões colaborativas inspiradas nas teorias de aprendizagem, permitindo esclarecer, criar e analisar uma sessão colaborativa selecionando objetivos, tarefas e papéis para cada aprendiz com base nas teorias escolhidas.

Neste trabalho apresentamos a extensão dos modelos de processo de interação e de aquisição de conhecimento criados e apresentados por Inaba et al., respectivamente, em [12] e [13]. Nosso objetivo é fazer a unificação entre os padrões desejados de interação durante uma sessão colaborativa com o desenvolvimento do aprendiz. Dessa forma, pretendemos auxiliar a criação de sessões colaborativas efetivas e prover uma forma simples e eficaz de estimar seus benefícios educacionais.

Este trabalho está organizado da seguinte forma: na sessão 2 introduziremos os modelos previamente desenvolvidos; na sessão 3 faremos a união destes modelos através da construção de uma ontologia para representar parte de uma teoria de aprendizagem; na sessão 4 apresentamos um exemplo de aplicação que utiliza a estrutura ontológica desenvolvida para auxiliar o planejamento de atividades colaborativas; e finalmente na sessão 5 temos as conclusões deste trabalho.

2. MODELOS PARA REPRESENTAR SESSÕES COLABORATIVAS

Atualmente muitas pesquisas em CSCL (*Computer Supported Collaborative Learning*) tem como objetivo analisar os processos de interação considerando a interação entre indivíduos e seus benefícios educacionais [2,3,6]. Contudo, raramente encontramos modelos adequados que permitem a representação explícita destes processos e, mais raro ainda, é encontrar modelos que esclarecem a relação entre interações e benefícios educacionais com base nas teorias de aprendizagem. Isto dificulta tanto o compartilhamento quanto o uso do computador para auxiliar a criação e a análise de sessões colaborativas com justificativas teóricas.

Trabalhos recentes na área de CSCL aplicadas na formação de grupos e no planejamento e análise de atividades colaborativas têm se preocupado muito apenas com os aspectos tecnológicos em detrimento a criação de uma base teórica sólida na qual seja possível justificar os benefícios educacionais destas tecnologias. Diversas pesquisas apresentam programas e heurísticas para automatizar e auxiliar a formação de grupos e o desenvolvimento de atividades [15;18]. Outros provêm formas de suportar práticas comuns utilizadas em sala de aula durante atividades colaborativas [9]. Contudo, nenhuma dessas pesquisas consideram o uso das teorias de aprendizagem para formar grupos e planejar atividades para cada aluno/grupo. O propósito inicial de nossa pesquisa não é automatizar ou criar heurísticas. Nosso principal objetivo é desenvolver modelos baseados nas teorias de aprendizagem que auxiliam a formação de grupos, o planejamento de atividades e a análise de interações entre aprendizes. Tais modelos permitem o desenvolvimento de sistemas que podem oferecer recomendações mais “inteligentes” e sua efetividade pode ser validada com base nas teorias de aprendizagem que têm sido extensivamente avaliadas e estudadas pela comunidade científica da área educacional.

O objetivo das sub-sessões seguintes é apresentar os modelos desenvolvidos por Inaba et al., que auxiliam na representação explícita de uma sessão colaborativa de tal forma que possa ser compreendida, analisada e compartilhada por professores e, até mesmo, por computadores. A sub-sessão 2.1 baseado em [12], apresenta vocabulários e um modelo para representar os processos de interação entre aprendizes. E a sub-sessão 2.2, baseada em [13], apresenta um modelo simplificado para representar os processos de aquisição de conhecimento e habilidades pelo aprendiz. Nas sessões seguintes, estes modelos serão usados como base para explicitar os benefícios obtidos por um aluno durante uma sessão colaborativa e identificar a relação entre a interação e seus possíveis benefícios educacionais.

2.1. MODELO DE PROCESSOS DE INTERAÇÃO

Para representar o processo de interação o trabalho de Inaba et al. [12] oferece dois tipos de vocabulários: diálogo-rótulos e diálogo-tipos. Para rotular facilmente cada interação (diálogo) feita por um usuário, necessita-se de um vocabulário a nível concreto (diálogo-rótulos). Por outro lado, para caracterizar facilmente uma sessão colaborativa, um vocabulário a nível abstrato (diálogo-tipos) é mais eficaz. Para satisfazer esta contradição, o trabalho de Inaba et al. [12] fez a análise de grandes quantidades de dados coletadas em diversas sessões colaborativas e, com a ajuda de diversos pesquisadores na área de CSCL, definiu-se os rótulos que representam as interações entre os usuários. Além disso, através da classificação destes rótulos foram desenvolvidos grupos de rótulos, chamados de diálogo-

tipos, para representar o processo de interação em nível abstrato e para distinguir e caracterizar cada tipo de sessão colaborativa.

Através da definição destes vocabulários foi possível definir padrões de interação baseados em sete tipos de processos de interação encontrados nas teorias de aprendizagem (por exemplo, *Cognitive Apprenticeship*, *Peer Tutoring*, *Situated Learning*, etc). A Figura 1 mostra o padrão de interação utilizado na teoria *Cognitive Apprenticeship* [4]. Neste exemplo, o padrão de interação é representado como blocos (atividades/interações descritas através do uso de diálogo-tipos) interligados com possíveis transições, necessárias (linha cheia), ou desejadas (linha pontilhada).

Ao representar explicitamente os processos típicos de interação como apresentado na Figura 1, é possível comparar um processo de interação qualquer com um processo típico de interação baseado nas teorias de aprendizagem, e dessa forma, auxiliamos a identificar/estimar se uma sessão colaborativa foi realizada como desejado.

2.2. MODELO DE CRESCIMENTO DO APRENDIZ

O modelo de crescimento do aprendiz (LGM – *Learner's Growth Model*), apresentado em [13], foi desenvolvido para representar, de forma simplificada, o processo de aquisição de conhecimento e o desenvolvimento de habilidades, de forma a esclarecer as relações entre as teorias de aprendizagem e seus respectivos benefícios educacionais. Para explicar este modelo serão descritos simplificadaamente dois processos: a aquisição de conhecimento e o desenvolvimento de habilidades.

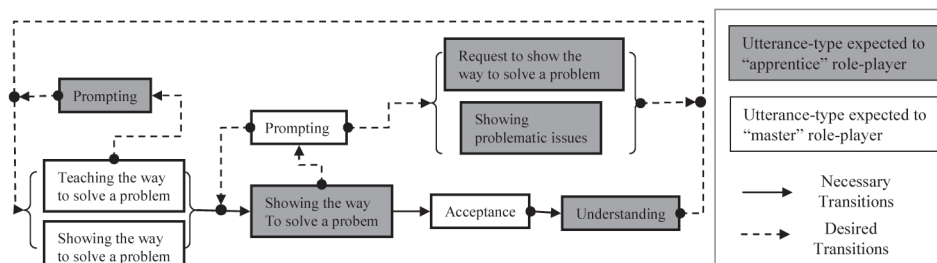


Figura 1: Exemplo do padrão de interação para teoria *Cognitive Apprenticeship* [12]

O processo para adquirir um conhecimento específico possui qualitativamente três tipos diferentes de aprendizagem: *crescimento natural* ou apenas crescimento (accretion), *aperfeiçoamento* (tuning) e *reestruturação* (restructuring) [16]. *Crescimento natural* é adicionar e interpretar uma nova informação em termos de um conhecimento pré-existente. *Aperfeiçoamento* é entender o conhecimento através da aplicação deste conhecimento numa situação específica. *Reestruturação* é considerar as relações entre os conhecimentos adquiridos e reconstruir a estrutura do conhecimento.

Considerando o desenvolvimento de habilidades também temos três fases: estágio *cognitivo* (inicial e explicativo), *associativo* e *autônomo* [1]. O estágio

cognitivo envolve uma “codificação” inicial da habilidade desejada em uma forma que permita ao aprendiz apresentar o comportamento desejado ou, pelo menos, uma aproximação satisfatória. O estágio *associativo* é o aperfeiçoamento da habilidade desejada através da prática. Neste estágio, erros apresentados inicialmente são gradualmente detectados e eliminados. O estágio *autônomo* é o aperfeiçoamento contínuo e gradual da habilidade.

Inaba et al. [13], desenvolveu o modelo LGM representando os estágios de aquisição de conhecimento e desenvolvimento de habilidades na forma de um grafo direcionado. Contudo, a versão original do modelo LGM não possui a representação do estágio de reestruturação de conhecimento. Assim, para permitir que todos os estados

fossem representados neste modelo, em [10] foram re-analisadas as teorias de aquisição de conhecimento e desenvolvimento de habilidades para reconstruir o modelo LGM. Como resultado, na Figura 2 apresentamos o novo modelo LGM.

O grafo representado na Figura 2 possui vinte nós (estados) que representam os níveis do desenvolvimento do aluno em um determinado período do aprendizado. Cada nó é representado por dois triângulos. O triângulo superior-direito representa o estágio do conhecimento adquirido, enquanto o triângulo inferior-esquerdo representa o estágio da habilidade desenvolvida. As setas mostram possíveis transições entre os estados de acordo com as teorias de Rumelhart e Norman [16] e Anderson [1]. Para representar o grafo de forma simplificada cada estado é representado

por uma tupla $s(x, y)$: x representa o estágio atual do desenvolvimento da habilidade e y representa o estágio atual da aquisição do conhecimento. Por exemplo, $s(0,0)$ representa o estado onde o estudante não possui nenhum conhecimento ou habilidade; $s(0,1)$ representa o estado onde o estudante possui conhecimentos em nível de crescimento (accretion), mas ainda não desenvolveu suas habilidades.

Utilizando este modelo consegue-se representar os benefícios educacionais das diversas formas de aprendizagem ressaltando o caminho (setas) que representa a transição de um estado inicial para um estado final. Dessa forma, é possível representar os benefícios de uma teoria de aprendizagem como um caminho no grafo. Mais detalhes serão apresentados nas sessões seguintes.

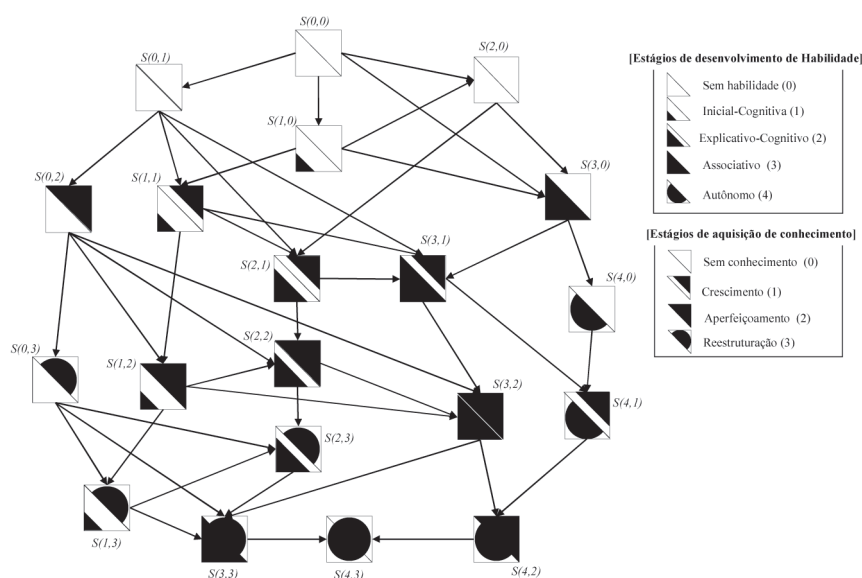


Figura 2. Modelo de Crescimento do Aprendiz (LGM)

3. UNIFICANDO OS MODELOS

No presente momento, com os modelos apresentados na sessão 2, é possível identificar com sucesso qual o tipo de interação ocorreu durante uma sessão colaborativa, compreender a essência das interações do grupo (sessão 2.1) e estimar os benefícios educacionais para cada membro do grupo (sessão 2.2). Contudo, existem limitações devido aos modelos não terem uma explícita relação:

1. Não podemos identificar a relação entre as interações que ocorrem durante uma sessão colaborativa e o seu respectivo impacto no desenvolvimento do aprendiz;
2. Não é possível explicar um caminho no modelo LGM através de um conjunto de interações;
3. Dificuldade em suportar o uso de deferentes práticas pedagógicas no planejamento de uma sessão colaborativa;

4. Não é possível intervir enquanto uma sessão está em execução. Isso significa que se um aprendiz, que possui um conhecimento considerado incorreto, ensinar outro aprendiz, ele irá transferir este conhecimento incorreto do início a fim de uma sessão.

Este trabalho propõe a união destes dois modelos através da extensão da **Ontologia da Aprendizagem Colaborativa** [11] que tem como objetivo representar processos colaborativos e oferecer um vocabulário comum que auxilia a representação das interações entre aprendizes. Nosso objetivo é dar suporte ao planejamento e a análise de processos colaborativos através da representação e desenvolvimento de modelos baseados em ontologias.

3.1. FUNDAÇÕES: ANÁLISE DAS INTERAÇÕES

O objetivo de unificar os modelos apresentados na sessão anterior é superar as dificuldades inerentes durante o planejamento e a análise de atividades colaborativas

através da representação das teorias de aprendizagem considerando seus benefícios educacionais e as interações (eventos) necessárias/desejadas para o desenvolvimento destes benefícios. Isto facilita a identificação, com mais precisão, dos benefícios educacionais que podem ser adquiridos por um aprendiz quando realiza-se uma atividade colaborativa. Além disso, segundo nosso ponto de vista essa união é o primeiro passo para esclarecer “o que é” uma teoria de aprendizagem, de tal forma que um computador possa compreendê-la, mostrando: quais são suas características, os benefícios esperados, as restrições de uso, as possíveis formas de conduzir as atividades, além de outros pontos importantes relacionados ao desenvolvimento de atividades de ensino-aprendizagem.

Para compreender e identificar quais os possíveis benefícios uma certa interação oferece a um aprendiz, dentro do contexto das teorias de aprendizagem, foram analisados todos os padrões de interação propostos em [12]. Cada

padrão de interação é composto por diversas atividades interativas. Para facilitar a compreensão das interações contidas num padrão, cada interação foi dividida em dois eventos que chamaremos de **eventos I_L** (*Instructor_Learner event*): um evento instrucional e um evento de aprendizagem. Todo evento instrucional possui uma relação de reciprocidade com eventos de aprendizagem. Em outras palavras, durante o processo de ensino-aprendizagem entre dois aprendizes, quando um aprendiz fala, o outro escuta; quando um faz uma pergunta, o outro responde; e assim por diante. Cada evento possui uma ou mais ações relacionadas e seus respectivos benefícios educacionais à aqueles que executam tais ações. Estas ações e benefícios educacionais estão diretamente associados com a teoria de aprendizagem utilizada (contexto), as estratégias de cada aprendiz e os papéis (*roles*) utilizados pelos aprendizes durante as atividades em grupo (Figura 3).

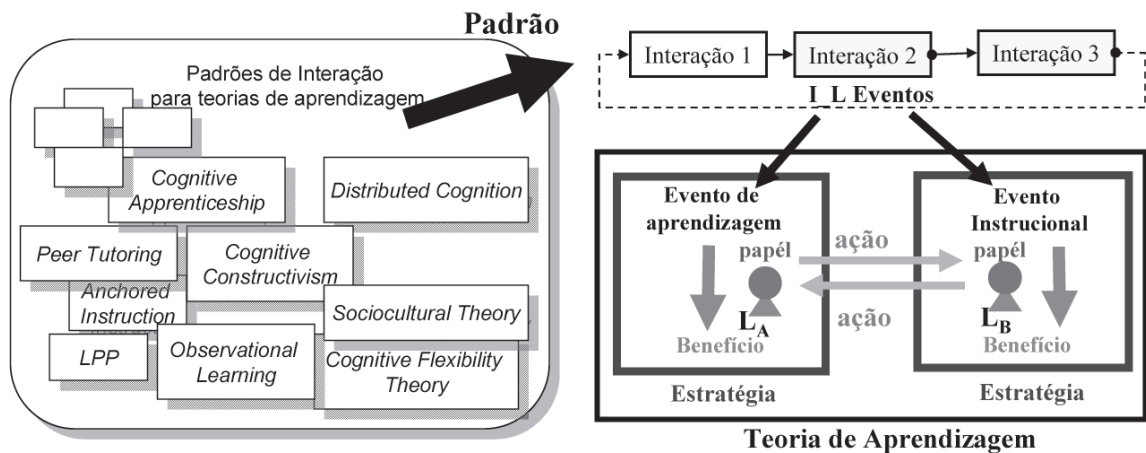


Figura 3. Representação de uma interação na forma de evento I_L.

Através da análise das interações e com o intuito de unificar os modelos anteriores (sessão 2.1 e 2.2) este trabalho propõe duas estruturas ontológicas de representação: (a) uma estrutura conceitual que representa, parcialmente, uma teoria de aprendizagem (Figura 4a); (b) uma estrutura que representa os padrões de interação na forma de eventos I_L (Figura 4b).

Estas estruturas utilizam alguns conceitos definidos na ontologia da aprendizagem colaborativa [11]. Estes conceitos podem ser manipulados considerando: (a) o planejamento de atividades colaborativas; e também (b) a análise das interações que ocorrem durante estas atividades. Considerando estes dois pontos de vista, os conceitos serão apresentados utilizando (a), o ponto de vista de planejamento de atividades, e (b), considerando o ponto de vista da análise de interações. Sendo assim, os principais conceitos utilizados são:

I-goal: (a) o objetivo particular do aprendiz; ou (b) o benefício esperado para este aprendiz ao final das atividades.

Y<=I-goal: (a) a estratégia de aprendizagem; ou (b) qual foi o papel do aprendiz durante as interações.

I-role: (a) o papel (*role*) designado a um aprendiz cuja a estratégia para atingir seus objetivos **I-goal** é **Y<=I-goal**; ou (b) o papel representado pelo aprendiz para obter seus objetivos **I-goal** utilizando a estratégia **Y<=I-goal**.

You-role: (a) o papel designado a um aprendiz que irá colaborar com outro aprendiz, cujo papel é **I-role**, para que as interações ocorram de forma efetiva; (b) o papel representado por um aprendiz que colabora com ou outro aprendiz, cujo papel é **I-role**, para que ambos atinjam seus objetivos **I-goal**.

A estrutura conceitual que representa parcialmente uma teoria de aprendizagem (Figura 4a) é composta por duas partes principais: A **estratégia de aprendizagem** e o **processo de ensino-aprendizagem**. A *estratégia de aprendizagem*, composta pelos membros do grupo e os objetivos (*I-goal*) do aprendiz cujo papel é **I-role**, especifica como (**Y<=I-goal**) o aprendiz (**I-role**) deveria interagir com outro aprendiz (**You-role**) para atingir seus objetivos (**I-**

goal). Por exemplo, na teoria *Cognitive Apprenticeship* um aprendiz interage com outro aprendiz guiando-o durante a resolução de um problema. Neste caso a estratégia de aprendizagem, $Y \leq I$ -goal, usada por este aprendiz é “aprender guiando” (*learning by guiding*), seu papel, *I*-role, é conhecido como “papel de mestre” (*master role*), o papel do aprendiz que recebe a orientação, *You*-role, é conhecida como “papel de aprendiz” (*apprentice role*), e os objetivos do aprendiz, cujo papel é o de mestre, são adquirir habilidades cognitivas e meta-cognitivas em nível autônomo. Em [11] foram identificadas diversas estratégias, papéis (*roles*) e benefícios educacionais de diferentes teorias de aprendizagem.

O processo de ensino-aprendizagem especifica o padrão de interação de uma teoria de aprendizagem

representada por atividades de interação necessárias ou complementares realizadas por membros de um grupo. Como mencionado anteriormente, nós descrevemos as interações utilizando eventos I_L (Figura 4b) para representar explicitamente as interações e seus benefícios considerando ambos os pontos de vista: para aqueles que realizam uma ação e para aqueles que recebem uma ação. Cada evento I_L é composto por um evento instrucional e por um evento de aprendizagem. Ambos são compostos por um ator (realizador de uma ação), uma ação (ou ações), e os benefícios para o realizador da ação. Observe que no evento instrucional o *instrutor* é um aprendiz que num determinado momento realiza uma ação instrucional (por exemplo, explicando como resolver um problema).

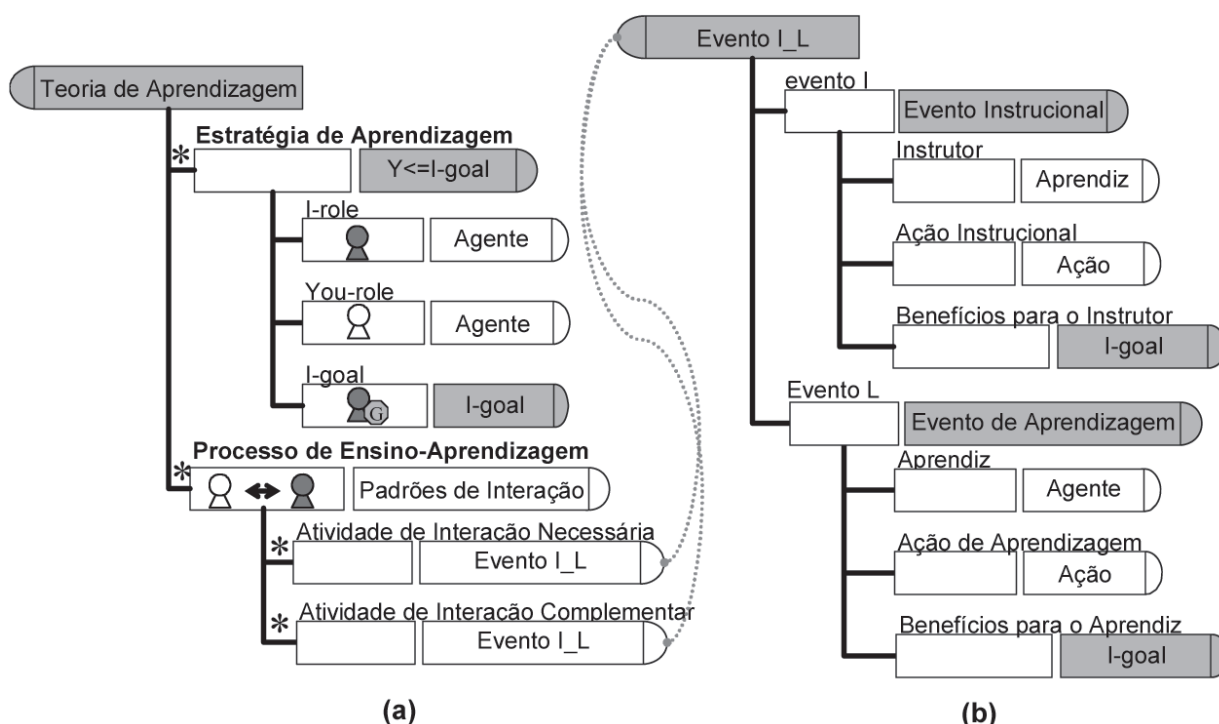


Figura 4: Estrutura ontológica para representar parcialmente teorias de aprendizagem.

Assim, para especificar o processo de ensino aprendizagem nós mapeamos os padrões de interação em eventos I_L. Atualmente conseguimos identificar mais de 15 eventos I_L e seus respectivos benefícios utilizados por sete diferentes teorias de aprendizagem:¹ *Cognitive Apprenticeship* [4], *Anchored Instruction* [5], *Peer Tutoring* [7], *Cognitive Flexibility* [19], *LPP* [14], *Socio-Cultural Theory* [20] e *Distributed Cognition* [17]. Na Tabela 1 mostramos alguns eventos I_L utilizados pelas teorias *Cognitive Apprenticeship* (CA) e *Anchored Instruction* (AI). Na coluna “Referência” temos os números que facilitam a identificação dos eventos quando

representados de forma simplificada (utilizamos estas referências na Figura 6). Na coluna “Eventos I_L” temos o nome de cada evento e na coluna seguinte apresentamos os respectivos eventos instrucionais e de aprendizagem. As duas últimas colunas da tabela mostram os benefícios para instrutores (aprendizes que num determinado momento atuam instruindo outros membros do grupo) e aprendizes representados como caminhos no grafo LGM. Por exemplo, como mostra a linha três da tabela, o evento I_L “*Demonstrar como resolver um problema*”, no contexto da teoria CA, auxilia o aluno-instrutor (mestre) a desenvolver habilidades no nível autônomo ($s(2,y) \rightarrow s(3,y)$) enquanto para o aluno-aprendiz este mesmo evento auxilia o desenvolvimento de habilidades no nível explanatório-cognitivo ($s(0,y) \rightarrow s(2,y)$).

¹ Os nomes das teorias foram mantidos em Inglês.

Tabela 1: Alguns eventos I_L e seus benefícios no contexto de duas teorias de aprendizagem

Referência	Eventos I_L	Evento Instrucional / Evento de Aprendizagem	Teoria	Benefícios Esperados (I-goal)	
				Instrutor	Aprendiz
9	Concordar	Aceitação/ Compreensão	CA	$s(3, y) \rightarrow s(4, y), y=1,2,3$	$s(2, y) \rightarrow s(3, y), y=0,1,2$
			AI	$s(2, y) \rightarrow s(3, y), y=1,2$	$s(x, 1) \rightarrow s(x, 2), x=1,2,3,4$
3	Esclarecer o problema	Identificação do problema/ Externalização do problema	CA	$s(3, y) \rightarrow s(4, y), y=1,2,3$	$s(0, y) \rightarrow s(1, y);$ $s(1, y) \rightarrow s(2, y), y=0,1,2$
2	Demonstrar como resolver um problema	Demonstração/ Observação da demonstração	CA	$s(3, y) \rightarrow s(4, y), y=1,2,3$	$s(0, y) \rightarrow s(1, y);$ $s(1, y) \rightarrow s(2, y), y=0,1,2$
6	Instigar o pensar	Argumentação/ Análise de argumentos	CA	$s(3, y) \rightarrow s(4, y), y=1,2,3$	$s(1, y) \rightarrow s(2, y), y=0,1,2$
10	Instigar a troca de idéias	Requisição de opinião/ Exposição de opinião	AI	$s(x, 1) \rightarrow s(x, 2), x=2,3$	$s(x, 1) \rightarrow s(x, 2), x=1,2,3,4$
4	Monitorar	Checagem de tarefa/ Execução de tarefa	CA	$s(3, y) \rightarrow s(4, y), y=1,2,3$	$s(1, y) \rightarrow s(2, y);$ $s(2, y) \rightarrow s(3, y), y=0,1,2$
			AI	$s(2, y) \rightarrow s(3, y), y=1,2;$ $s(x, 1) \rightarrow s(x, 2), x=2,3$	$s(x, 0) \rightarrow s(x, 1);$ $s(x, 1) \rightarrow s(x, 2), x=1,2,3,4$
5	Identificar como o aluno reage	Oferecimento de informação/ Processamento de informação	CA	$s(3, y) \rightarrow s(4, y), y=1,2,3$	$s(1, y) \rightarrow s(2, y), y=0,1,2$
			AI	$s(2, y) \rightarrow s(3, y), y=1,2;$ $s(x, 0) \rightarrow s(x, 1), x=1,2,3,4$	$s(x, 0) \rightarrow s(x, 1), x=1,2,3,4$
7	Requisitar detalhes sobre o problema	Requisição de pontos problemáticos/ Apresentação de pontos problemáticos	CA	$s(3, y) \rightarrow s(4, y), y=1,2,3$	$s(2, y) \rightarrow s(3, y), y=0,1,2$
			AI	$s(2, y) \rightarrow s(3, y), y=1,2$	Nenhum benefício esperado
1	Contextualizar	Provendo informação sobre o contexto/ Contextualização da informação	CA	$s(3, y) \rightarrow s(4, y), y=1,2,3$	$s(0, y) \rightarrow s(1, y), y=0,1,2$
			AI	Nenhum benefício esperado	$s(x, 0) \rightarrow s(x, 1);$ $s(x, 1) \rightarrow s(x, 2), x=1,2,3,4$
8	Mostrar uma solução	Explicação/ Compreensão da explicação	CA	$s(3, y) \rightarrow s(4, y), y=1,2,3$	$s(2, y) \rightarrow s(3, y), y=0,1,2$
			AI	$s(2, y) \rightarrow s(3, y), y=1,2;$	$s(x, 1) \rightarrow s(x, 2), x=1,2,3,4$

Note que embora todos os eventos I_L identificados possuam apenas um objetivo principal, gostaríamos de salientar que para cada teoria de aprendizagem o mesmo evento I_L pode possuir diferentes propósitos, sendo utilizado de diferentes maneiras, realizado através de diferentes ações e, portanto, podemos esperar diferentes benefícios educacionais. Isso acontece porque cada teoria procura auxiliar o aprendiz considerando diferentes estágios de conhecimento e de desenvolvimento de habilidades através do uso de diferentes materiais e recursos de aprendizagem. Por exemplo, embora o evento I_L “contextualizar” seja utilizado para contextualizar a atividade auxiliando a compreensão do conteúdo pelo aprendiz, como mostrar a Tabela 1, no contexto da teoria *Anchored Instruction* espera-se que os aprendizes adquiram conhecimentos específicos sobre o conteúdo, enquanto no contexto da teoria *Cognitive Apprenticeship* espera-se que os aprendizes desenvolvam suas habilidades.

3.2 COMBINANDO MODELOS

Com a representação de padrões de interação através de eventos I_L, a análise dos benefícios de cada interação apresentada parcialmente na Tabela 1, e utilizando a estrutura conceitual de uma teoria de aprendizagem (figura 4), conseguimos identificar os benefícios de cada interação considerando os diferentes papéis representados pelos aprendizes durante uma interação dentro do contexto (teoria de aprendizagem) na qual as interações ocorrem. Assim, tornamos possível a unificação dos dois modelos apresentado na sessão 2.

Esta unificação é representada na forma de ontologias conforme apresentado na Figura 4. Para cada teoria de aprendizagem uma sub-classe desta ontologia é criada.

Além disso, a unificação também pode ser graficamente representada através da extensão do modelo LGM associando a cada aresta do grafo o conjunto de interações (representado por eventos I_L) que auxilia a transição de um estágio para o outro no grafo. Para explicar como esta unificação pode ser representada, a Figura 5 mostra um pequeno pedaço da teoria *Cognitive Apprenticeship* na forma de ontologias na qual esclarecemos parcialmente quais atividades de um padrão de interação escolhido (modelo apresentado na sessão 2.1) podem ajudar os aprendizes a se desenvolverem durante diferentes fases do aprendizado (modelo LGM apresentado na sessão 2.2).

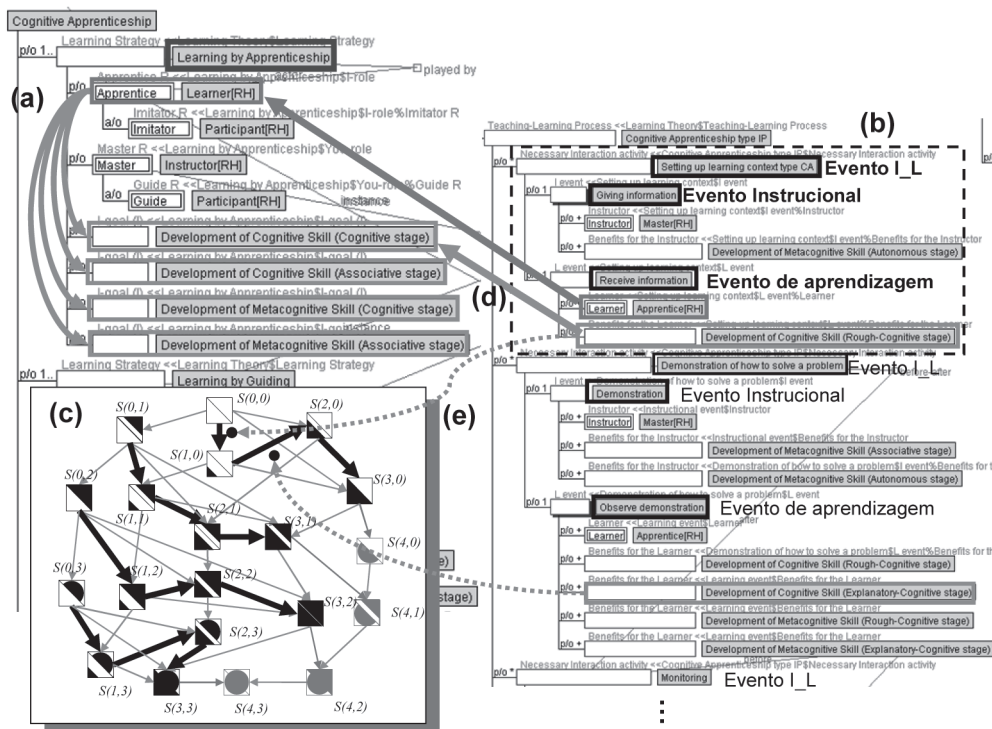


Figura 5: Parte da estrutura ontológica para representar a teoria Cognitive Apprenticeship. Em (a) são identificados uma estratégia, seus atores (principal e coadjuvante) e os benefícios para o ator principal desta estratégia; Em (b) temos a representação de um evento I_L; Em (c) temos a visualização gráfica desta ontologia utilizando o modelo LGM.

No exemplo da Figura 5, a Figura(a) mostra a estratégia *learning by apprenticeship* ($Y \leq I\text{-goal}$), onde o aluno (ou alunos) que atua como aprendiz (*apprentice: I-role*) é o ator principal e o aluno que atua como mestre (*master: You-role*) possui o papel de coadjuvante (na sessão 3.1 foi apresentado a estratégia inversa onde o mestre atua como ator principal e o aprendiz atua como coadjuvante). Ainda neste parte da ontologia mostrada na Figura 5(a) são descritos os benefícios que esta estratégia oferece ao(s) aluno(s) que atua(m) como aprendiz(es). Os alunos que seguem este papel inicialmente não possuem as habilidades cognitivas e meta-cognitivas desejadas, $s(0,y)$, e durante a realização das atividades colaborativas conseguem desenvolver suas habilidades até o nível associativo, $s(3,y)$. O desenvolvimento deste aluno pode ser representado como um caminho no grafo do modelo LGM conforme mostra a Figura 5(c).

Finalmente, para esclarecer quais atividades colaborativas auxiliam na transição entre estágios de desenvolvimento de um aluno, este trabalho representou o modelo de padrões de interação (sessão 2.1) na forma de eventos I_L. Dessa forma, nossa ontologia pode descrever o processo de ensino-aprendizagem como uma sequencia de atividades colaborativas, ou seja, eventos I_L, conforme mostra a Figura 5(b). Cada evento I_L é composto por eventos instrucionais e de aprendizagem. O aluno que atua como mestre realiza os eventos instrucionais enquanto o aluno que atua como aprendiz realiza os eventos de aprendizagem. Cada um destes eventos oferece benefícios conforme apresentado na Tabela 1. No exemplo da Figura 5(b), o evento *Setting up learning context* (traduzido como contextualizar na Tabela 1) auxilia o aluno-

aprendiz a adquirir habilidades cognitivas no nível inicial-cognitivo. O benefício desta atividade ajuda o aluno-aprendiz a atingir um dos seus objetivos conforme mostra a seta na Figura 5(d). Este benefício também pode ser representado como uma transição no grafo LGM. De acordo com a Tabela 1, caso a aprendiz esteja no estágio $s(0,0)$, então esta atividade irá auxiliá-lo a passar para o estágio $s(1,0)$ conforme mostra a seta pontilhada na Figura 5(e).

Através da expressividade e semântica oferecida com o uso de ontologias mostramos uma forma de unificar os modelos previamente estabelecidos. E dessa forma, esclarece-se quais atividades de um padrão de interação escolhido podem ajudar os alunos a se desenvolverem durante diferentes fases do aprendizado.

Na Figura 6 apresentamos graficamente a completa unificação dos modelos apresentados na sessão 2 para a teoria *Cognitive Apprenticeship* utilizando a estratégia *learning by apprenticeship*. Este modelo estende o modelo LGM incluindo em cada aresta eventos I_L que facilitam a transição entre estágios no grafo (Figura 5(e)). Este modelo estendido será chamado de **GMP – Growth Model Improved by Interaction Patterns** (Modelo de crescimento estendido por padrões de interação). As arestas em negrito representam as transições de um estado para outro as quais podem ser realizadas utilizando as interações correspondentes. Existem dois tipos de interações: as interações necessárias, representadas por círculos negros, e as interações complementares, representadas por círculos em branco. Os números em cada círculo são referências para os eventos I_L conforme visto na Tabela 1. A relação entre interações é representada por uma elipse. As elipses tracejadas

representam uma ligação direta entre duas interações, ou seja, ao completar uma interação é desejável seguir para a próxima interação e não é desejável que os alunos retornem para a mesma interação. As elipses sólidas representam um

ligação cíclica entre duas interações, ou seja, após completar uma interação os alunos podem seguir para a próxima interação e é desejável que os alunos retornem para a interação anterior pelo menos uma vez.

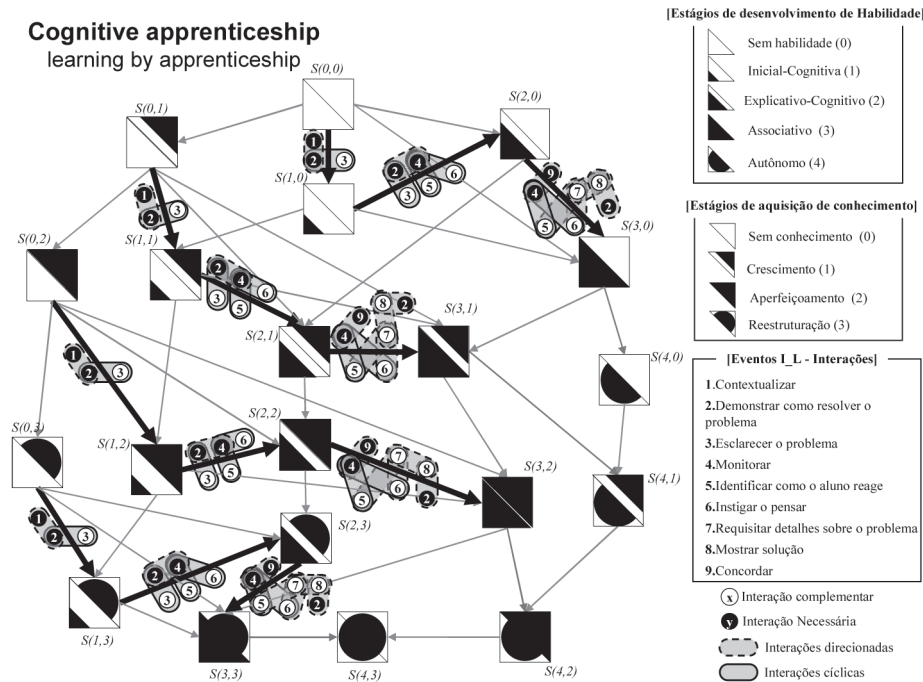


Figura 6: Exemplo do modelo GMIP para a teoria *Cognitive Apprenticeship* usando a estratégia *learning by apprenticeship*

A principal contribuição do modelo proposto GMIP é resolver, pelo menos parcialmente, os problemas apresentados no início da sessão 3. Este modelo esclarece, de forma mais precisa, como as interações afetam o desenvolvimento dos aprendizes, facilitando o planejamento de atividades com base nos eventos I_L (interações). Assim, este modelo se torna uma ferramenta muito útil e poderosa para ajudar professores e instrutores a selecionarem interações e papéis para cada aprendiz, levando em consideração os benefícios desejados e as diferentes teorias de aprendizagem. Além disso, tornamos possível oferecer novas alternativas para o planejamento, suporte e análise de sessões colaborativas. Por exemplo: (a) para cada caminho no grafo temos o objetivo final (último estágio a ser alcançado) e os sub-objetivos (estágios intermediários). Assim para cada sub-objetivo, é possível que um professor intervenha no grupo, para guiar os participantes do grupo que não conseguiram acompanhar as atividades ou analisar o resultado do grupo enquanto a sessão colaborativa ainda não chegou ao seu fim. Este tipo de intervenção é muito rara devido a falta de suporte oferecido atualmente. A abordagem usual é apenas analisar os resultados do grupo e dos indivíduos ao final de uma sessão.

Outra instigante característica do nosso modelo que merece uma atenção especial é a possibilidade de combinar estratégias de aprendizagem. Devido ao fato que cada estratégia, descrita numa teoria de aprendizagem, ser representada como um caminho no grafo do modelo GMIP, nós podemos identificar pontos (estágios) em comum entre estratégias, e assim, prover

uma forma de combinar teorias “conectando” duas ou mais estratégias de diferentes teorias para atingir o objetivo desejado. Considerando esta possibilidade durante o planejamento de atividades, um professor poderia selecionar uma estratégia para que os aprendizes obtenham algum benefício desejado e depois trocar de estratégia para auxiliar os aprendizes a obterem outros benefícios que a primeira estratégia não poderia oferecer. Observe que nós não estamos querendo dizer que é possível combinar qualquer estratégia ou qualquer teoria, o que nós queremos enfatizar é: *se for possível compreender profundamente as teorias de aprendizagem de forma que possamos representá-las explicitamente utilizando axiomas formais, será possível identificar pontos em comum entre teorias e então poderemos propor técnicas para combiná-las racionalmente.* Combinar teorias de aprendizagem racionalmente ainda é um desafio e nós pretendemos lidar de forma cuidadosa e minuciosa este tema em pesquisas futuras.

Com a possibilidade de utilizar o modelo GMIP em diversas aplicações que auxiliam no planejamento de sessões colaborativas e na análise das interações entre indivíduos, nós implementamos a estrutura apresentada na Figura 4 para sete teorias de aprendizagem (*Anchored Instruction, Cognitive Flexibility, Distributed Cognition*, etc) usando o editor de ontologias Hozo (disponível em <http://www.ei.sanken.osaka-u.ac.jp/hozo>) e extedemos a ontologia da aprendizagem colaborativa [11].

Em resumo, as principais contribuições desta sessão foram: (a) prover um modelo chamado GMIP que nos permite

visualizar graficamente as teorias de aprendizagem. Assim, professores e instrutores podem rapidamente interpretar as teorias, identificar seus requisitos e benefícios e, finalmente, propor seqüência de atividades baseado nestas teorias; e (b) construir uma estrutura formal baseado em ontologias para descreve parcialmente uma teoria de aprendizagem e permitir que qualquer sistema possa raciocinar sobre as teorias e suas características descritas através desta estrutura. Assim, proporcionamos novas alternativas para o suporte inteligente oferecendo sugestões de atividades durante o processo de planejamento de sessões colaborativas, além de auxiliar na análise das interações entre indivíduos durante, e também, ao final de uma sessão.

4. UM EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Como mencionando anteriormente, existem diversas teorias que facilitam a formação, o planejamento de atividades e a análise de grupos de aprendizagem. Dessa forma, é possível selecionar uma ou mais teorias de aprendizagem para guiar o aprendizado considerando os diferentes pré-requisitos, objetivos individuais e objetivos do grupo. Esta possibilidade de escolher diferentes teorias oferece diversas formas de se conduzir o processo colaborativo. Contudo, essa diversificação pode dificultar a escolha apropriada de uma teoria de aprendizagem, durante o planejamento instrucional das atividades, que oferece os benefícios educacionais desejados matendo a consistência do processo de

aprendizagem. Com o intuito de ajudar professores, instrutores e outros usuários no desenvolvimento e planejamento de atividades colaborativas efetivas esta em fase de desenvolvimento um sistema de autoria inteligente que possui a capacidade de analisar diferentes teorias de aprendizagem e auxiliar o desenvolvimento de atividades colaborativas conforme prescrito por estas teorias.

Este sistema de autoria que está ciente da existência das diversas teorias de aprendizagem e que pode utilizá-las nas diferentes tarefas (formação, planejamento e análise) para se criar processos colaborativos efetivos foi denominado **CHOCOLATO** – a *Concrete and Helpful Ontology-aware Collaborative Learning Authoring Tool*. O sistema CHOCOLATO é baseado no modelo GMIP e na estrutura ontológica que descreve teorias de aprendizagem apresentada neste trabalho. Através do uso de ontologias, as teorias e suas características são declarativamente e formalmente representadas de tal forma que: (a) impedem que as teorias sejam interpretadas de forma ambígua e inesperada; (b) oferecem um vocabulário comum para descrevê-las; (c) auxiliam o compartilhamento e o acúmulo de conhecimento; e (d) permitem que as informações sejam interpretadas semanticamente por computadores facilitando o uso das teorias de aprendizagem em qualquer programa que esteja apto a interpretar tais ontologias. Além disso, com o uso do modelo GMIP o sistema CHOCOLATO oferece uma representação gráfica que auxilia o usuário a ter uma rápida interpretação das teorias, seus pré-requisitos e seus benefícios (Figura 7).

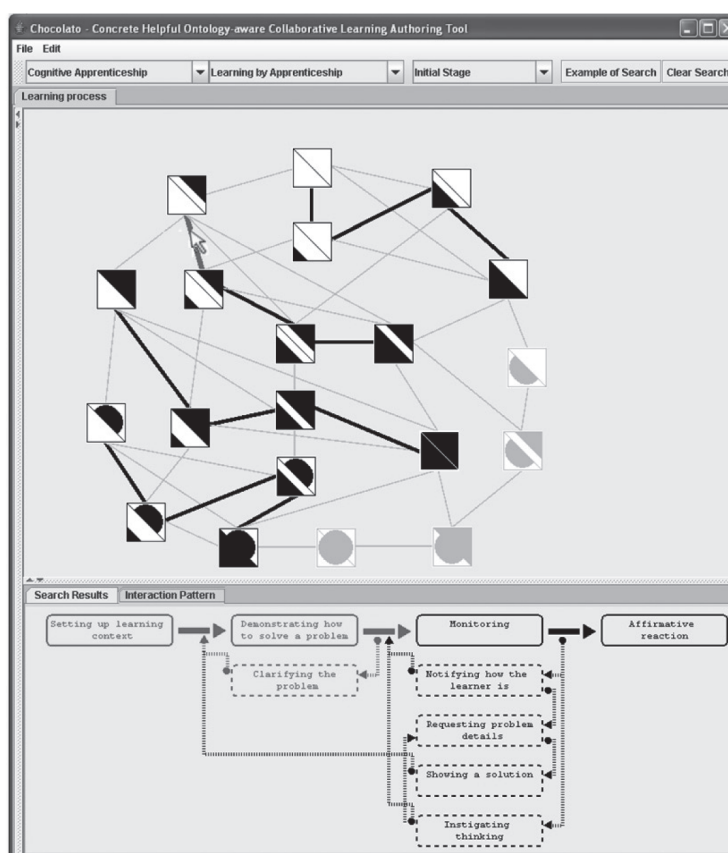


Figura 7: Uma das interfaces gráficas do CHOCOLATO. Na parte superior temos a representação da estratégia *learning by apprenticeship* utilizada no contexto da teoria *Cognitive Apprenticeship* e na parte inferior temos o padrão de interação relacionado a esta teoria.

O sistema CHOCOLATO foi desenvolvido para auxiliar tanto usuários inexperientes quanto especialistas durante o desenvolvimento de atividades colaborativas. Por exemplo, ao planejar uma atividade colaborativa, para usuários inexperientes o sistema oferece uma ajuda estruturada levando em consideração as diferentes teorias de aprendizagem e os objetivos do usuário. Através da interface de autoria utilizando o modelo GMIP é possível selecionar os estados iniciais e os objetivos de cada membro do grupo e, assim, o sistema automaticamente pode recomendar teorias, estratégias, atividades, papéis para estudantes, além de outras recomendações necessárias/desejadas para que todos atinjam seus objetivos e também os objetivos do grupo. Além disso, os usuários podem personalizar as recomendações para satisfazer requisitos encontrados em alguma situação em particular. Para especialistas, o sistema oferece uma linguagem padrão e diretrizes para expressar de modo formal as atividades colaborativas, o fluxo de interações entre os membros do grupo, as ações que podem ser realizadas, etc. Dessa forma, é possível descrever novas estratégias e papéis para membros de um grupo específico, reutilizá-las quando necessário e compartilhá-las com outros usuários e, finalmente, combinar diferentes formas de interação que podem ser utilizadas em diferentes cenários.

Considerando o processo de análise de interação, é muito difícil identificar quando um aluno desenvolveu os benefícios desejados, pois é necessário descobrir qual o seu papel (*role*) perante o grupo e quais as interações realizadas por ele. Para ajudar este processo, uma das funcionalidades do sistema CHOCOLATO tenta estimar se o processo colaborativo foi realizado conforme o cenário inicial criado pelo usuário. Assim, é possível avaliar se os alunos interagiram conforme o esperado e se o processo colaborativo foi realizado com sucesso ou não. É importante notar que se o cenário inicial não for previamente estabelecido a dificuldade de analisar os alunos e o processo colaborativo é muito maior, pois não sabemos quais benefícios são esperados e quais atividades deveriam ser seguidas.

Para exemplificar o uso do CHOCOLATO durante o planejamento de atividades, na Figura 7 apresentamos uma das interfaces do sistema CHOCOLATO utilizada para apresentar as teorias de aprendizagem na forma gráfica. Na parte superior desta interface é possível visualizar os pré-requisitos de uma estratégia utilizada por uma teoria e verificar quais são os benefícios da mesma. E na parte inferior é mostrado o padrão de interação relacionado com esta teoria. Além disso, ao selecionar um das linhas grossas, é possível verificar quais interações estão relacionadas com o desenvolvimento de uma habilidade ou conhecimento em particular facilitando a escolha de atividades e teorias adequadas para cada tipo de aluno/grupo.

Diversas outras funcionalidades já foram desenvolvidas, como a possibilidade de gerar ajuda automática para o usuário, consultar uma determinada teoria, identificar quais teorias podem ser utilizadas dados os pré-requisitos e os objetivos de cada aluno, além de outras. Outra

funcionalidade que pretendemos incorporar nas versões futuras é a formação semi-automática de grupos utilizando as teorias de aprendizagem.

5. CONCLUSÕES

A possibilidade de esclarecer o que é uma sessão colaborativa e amplificar seus benefícios educacionais, oferecendo recursos que facilitam sua representação, planejamento e análise, têm sido um grande desafio. Neste contexto, o presente trabalho focou em identificar as relações entre padrões de interação e o desenvolvimento do aprendiz. Nossa abordagem considerou cuidadosamente as diversas formas de interação entre aprendizes e propôs a representação do desenvolvimento de um aprendiz identificando as relações entre os benefícios educacionais, estratégias de aprendizagem e papéis representados pelos aprendizes durante atividades colaborativas.

Para atingir nossos objetivos, utilizamos dois modelos previamente desenvolvidos, o padrão de interação [12], e o modelo de crescimento do aprendiz (LGM) [13], e trabalhamos em esclarecer as relações entre padrões de interação, estratégias de aprendizagem e objetivos de aprendizagem. Como resultado, nós propomos um modelo chamada GMIP, o qual unifica os modelos anteriores. Este modelo é a representação simplificada de uma estrutura ontológica que represente parcialmente o conceito de Teoria de Aprendizagem e também estende a ontologia da aprendizagem colaborativa desenvolvida por Inaba et al. [11]. Este modelo tem sido implementado usando o editor de ontologias Hozo e pode ser utilizado para desenvolver programas que auxiliam na formação de grupos, no planejamento de atividades e na análise de sessões colaborativas.

Existem, pelo menos, dois benefícios principais em nosso modelo GMIP. Primeiro, ele pode ajudar na análise das interações entre indivíduos de um grupo contribuindo para melhorar a precisão da análise de sessões colaborativas e estimando os benefícios educacionais enquanto a sessão está em andamento. E segundo, oferece novas formas de planejar atividades colaborativas levando em consideração as diversas teorias de aprendizagem. Isto facilita a identificação dos papéis e tipos de interações (e ações) que deveriam ser seguidas pelos aprendizes para que estes possam obter os benefícios desejados.

Os benefícios do modelo GMIP foram utilizados durante o desenvolvimento de um sistema de autoria que dá suporte ao planejamento e a análise de atividades colaborativas. Este sistema, denominado CHOCOLATO – a *Concrete and Helpful Ontology-aware COLlaborative Learning Authoring Tool*, oferece diversas funcionalidades para auxiliar os usuários, sejam eles inexperientes ou especialistas no desenvolvimento de atividades colaborativas. Através do uso de ontologias este sistema oferece ajuda “inteligente” ao usuário auxiliando-o na escolha de atividades para cada grupo, papéis para cada aluno, estratégias a serem seguidas, além de outras informações que favorecem o planejamento eficaz de sessões colaborativas com justificativas teóricas.

Um ponto delicado que gostaríamos de enfatizar é a necessidade de sofisticadas técnicas para formação de grupo que permitem selecionar estratégias, papéis e atividades para cada aprendiz antes que se inicia uma sessão colaborativa. Nós acreditamos que o planejamento de sessões colaborativas é o requisito mínimo para maximizar os benefícios educacionais e minimizar as dificuldades durante o processo de análise de interações. Tal abordagem cria condições favoráveis para aprendizes seguirem, com maior facilidade, atividades colaborativas e ao final da sessão auxilia professores a estimar os benefícios adquiridos pelos aprendizes através das atividades realizadas. Nossa crença na utilização das teorias de aprendizagem para formar grupos, sugerindo papéis para cada aprendiz e seqüência de interações, vem do fato que podemos utilizar as pesquisas provindas de diversas áreas como, Psicologia, Educação, Neurociência, etc, proporcionando: (a) o arcabouço inicial para a prática efetiva da aprendizagem colaborativa; e (b) condições essenciais para predizermos o impacto das interações no processo de aprendizagem.

Nós também acreditamos que a estrutura ontológica desenvolvida neste trabalho é um dos conceitos-chave para esclarecer e representar de forma mais completa uma teoria de aprendizagem no contexto da aprendizagem colaborativa. Este é mais um passo em direção ao desenvolvimento de sistemas de autoria que podem “raciocinar” sobre seu conhecimento e prover ajuda inteligente no planejamento e análise de atividades com base nas teorias de aprendizagem. Nosso maior objetivo é desenvolver por completo tal sistema de autoria inteligente.

REFERÊNCIAS

- [1] Anderson, J. R. Acquisition of Cognitive Skill, *Psychological Review*, 89(4): 369-406, 1982.
- [2] Barros, B., Verdejo, M.F. Analyzing student interaction processes in order to improve collaboration. The DEGREE approach, *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 11: 221-241, 2000.
- [3] Collazos, C.A., Guerrero, L.A., Pino, J.A., Ochoa, S. F. A method for evaluating computer-supported collaborative learning processes, *International Journal of Computer Applications in Technology*, 19(3/4): 151 – 161, 2004.
- [4] Collins, A. Cognitive apprenticeship and instructional technology. In L. Idol & B. F. Jones (Eds.), *Educational values and cognitive instruction: Implications for reform*, Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 119–136, 1991.
- [5] Cognition and Technology Group at Vanderbilt, Anchored instruction in science education. In: R. Duschl & R. Hamilton (Eds.), *Philosophy of science, cognitive psychology, and educational theory and practice*, Albany, NY: SUNY Press, 244-273, 1992.
- [6] Dillenbourg, P. (1999) What do you mean by Collaborative Learning, *Collaborative Learning and Computational Approaches*, Oxford: Elsevier Science, 1-19, 1999.
- [7] Endlsey, W. R. Peer tutorial instruction, *Educational Technology*, 1980.
- [8] Fuks, H., Pimentel, M., Lucena, C. J. P., R-U-Typing-2-Me? Evolving a chat tool to increase understanding in learning activities, *Computer-Supported Collaborative Learning*, 1: 117–142, 2006
- [9] Hernández-Leo, D., Asensio-Pérez, J.I., Dimitriadis, Y. Computational Representation of Collaborative Learning Flow Patterns Using IMS Learning Design *Educational Technology & Society*. 8(4):75-89, October 2005.
- [10] Isotani, S. and Mizoguchi, R. A Framework for Fine-Grained Analysis and Design of Group Learning Activities. In *Proceedings of the Int. Conference on Computers in Education*. IOS Press, Amsterdam, v.151, 193-200, 2006.
- [11] Inaba A., Mizoguchi, R. Learner’s Role and Predictable Educational Benefits in Collaborative Learning, *Proceedings of the International Conference on Intelligent Tutoring Systems*, 285-294, 2004.
- [12] Inaba, A., Ohkubo, R., Ikeda, M., & Mizoguchi, R. Models and Vocabulary to Represent Learner-to-Learner Interaction Process in Collaborative Learning, *Proceedings of the International Conference on Computers in Education*, 1088-1096, 2003a.
- [13] Inaba, A., Ikeda, M., Mizoguchi, R. What Learning Patterns are Effective for a Learner’s Growth?, *Proceedings of the International Conference on Artificial Intelligence in Education*, 219-226, 2003b.
- [14] Lave, J., Wenger, E. *Situated Learning: Legitimate peripheral participation*, Cambridge University Press, 1991.
- [15] Martin W. and Hans-Rüdiger P. Group formation in computer-supported collaborative learning. *Proceedings of the International ACM SIGGROUP Conference on Supporting Group Work*, 24-31, 2001.
- [16] Rumelhart, D.E., Norman, D.A. Accretion, Tuning, and Restructuring: Modes of Learning, *Semantic factors in cognition*. LEA, 37-53, 1978.
- [17] Salomon G. *Distributed Cognitions: Psychological and Educational Considerations*, Cambridge University Press, 1996.
- [18] Soh, L. Khandaker, N. Jiang, H. Multiagent Coalition Formation for Computer-Supported Cooperative Learning. In *Proceedings of Innovative Applications of Artificial Intelligence Conference (IAAI)*, 1844-1851, 2006.
- [19] Spiro, R.J., Coulson, R.L., Feltovich, P.J., Anderson, D.K. Cognitive flexibility theory: Advanced knowledge acquisition in ill-structured domains. In *Proceedings of The tenth annual conference of the cognitive science society*, 375-383, 1988.
- [20] Vygotsky, L.S. *Mind in Society: The development of the higher psychological processes*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1978.