

## Capítulo

# 3

## **Avaliação adaptativa utilizando espaço de conhecimento baseado em competência**

Emerson Moura de Alencar, Eduardo Henrique da Silva Aranha, André Maurício Cunha Campos

### *Abstract*

*This work addresses the theme of adaptive assessment, whose objective is to make the evaluation process more efficient. This work presents the main adaptive assessment techniques currently used, their history and their importance in the educational context. Among the techniques used the work is deepened in the Theory Space Knowledge (KST). The application of KST allows to represent the knowledge of a given domain within a learning system. An extension of KST, called Competence-Based Knowledge Space Theory (CbKST), favors the creation of an adaptive assessment system that models competencies and skills, building a more personalized training itinerary. It will be presented the basic concepts of the theory, the techniques for building the knowledge space and later some systems that use the CbKST as a base. A step-by-step description of how to create an adaptive system based on the CbKST will be described, from the construction of the dependencies between competences to the construction of the knowledge structure, in which all possible states of knowledge of a given domain are represented.*

### *Resumo*

*Este trabalho aborda o tema de avaliação adaptativa, cujo objetivo é tornar o processo de avaliação mais eficiente. Este trabalho apresenta as principais técnicas de avaliação adaptativa atualmente utilizadas, seu histórico e sua importância no contexto educacional. Dentre as técnicas utilizadas o trabalho aprofunda-se na teoria do espaço do conhecimento (KST). A aplicação do KST permite representar o conhecimento de um determinado domínio dentro de um sistema de aprendizado. Uma extensão do KST, chamada de Teoria do Espaço do Conhecimento baseadas em competência (CbKST), favorece a criação de um sistema de avaliação adaptativa que modela competências e habilidades, construindo um itinerário formativo mais personalizado. Serão apresentados os conceitos básicos da teoria, as técnicas para construção do espaço do conhecimento e posteriormente alguns sistemas que utilizam o CbKST como base. Será descrito um passo a*

*passo de como criar um sistema adaptativo com base no CbKST, desde a construção das dependências entre competências à construção da estrutura do conhecimento, na qual todos os estados possíveis de conhecimento de um determinado domínio são representados.*

### **3.1. Avaliação Adaptativa**

Avaliação Adaptativa, também conhecida como Teste Adaptativo Computadorizado (do inglês *Computerized Adaptive Tests* - CAT), é uma forma de avaliar indivíduos na qual as perguntas, atividades ou tarefas solicitadas em uma avaliação se adaptam ao conhecimento e/ou às habilidades do indivíduo (Doble, 2019). As atividades aplicadas dependem, portanto, das respostas das atividades anteriores, permitindo que a avaliação se adeque às características de quem está sendo avaliado.

Em geral, o objetivo do uso dessa abordagem é tornar o processo avaliativo mais eficiente, reduzindo o número de questões ou atividades necessárias para estimar o conhecimento ou habilidades de alguém. Um número reduzido de atividades tende a reduzir o cansaço cognitivo do avaliando, permitindo assim mais empenho e concentração nas atividades realizadas. Há, porém, outros usos, como no caso de jogos educativos que atuam também como ferramenta de avaliação. Nesses casos, o objetivo não é apenas avaliar, mas também conservar o jogador no estado de Flow (Kiili, 2012). Como em um teste, as atividades avaliativas em um jogo se adaptam às respostas anteriores do jogador.

Independentemente da finalidade à qual a avaliação adaptativa é aplicada, seu funcionamento é, de um ponto de vista conceitual, bastante simples. Ela seleciona uma atividade avaliativa a ser aplicada maximizando um critério baseado em um modelo ou estimativa de conhecimento/habilidades do avaliando. Esta atividade é apresentada ao avaliando. Em função da resposta dada à atividade, o modelo ou estimativa do avaliando é adaptado e uma nova atividade é selecionada. Este processo continua até que um critério de parada seja alcançado (tempo, precisão etc). Desta perspectiva conceitual, o funcionamento cíclico descrito aqui é simples. A complexidade reside, porém, nas técnicas e algoritmos voltados para a definição do mecanismo de seleção das atividades, do modelo do avaliando e dos critérios de parada.

O presente trabalho visa dar uma visão geral sobre as principais técnicas utilizadas atualmente em avaliação adaptativa. Porém, aprofunda-se em uma das técnicas, detalhando seu funcionamento, seus modelos e algoritmos. Mais especificamente, este trabalho aborda o uso de estruturas de representação cognitivas conhecidas como Espaço de Conhecimento (*Knowledge Spaces* - KS). Algoritmos e critérios de busca sobre esse espaço e como eles podem ser implementados são apresentados no intuito de facilitar os interessados na área em colocar em prática uma avaliação adaptativa.

### **3.2. Motivação**

A educação tem automatizado seus métodos e processos cada vez mais. Cursos abertos massivos online (*Massive Open Online Course* - MOOC), por exemplo, estão abertos a quem se interessar por seus assuntos, de leigos a profissionais. A diversidade da audiência pulveriza, entretanto, o foco e a forma com que estes assuntos podem ser tratados, dificultando a eficiência dos seus resultados (em termos percentuais). Uma grande quan-

tidade alunos inscritos podem simplesmente abandonar o curso se achar, após as aulas iniciais, que o nível de profundidade abordado não era o esperado, seja para mais ou para menos. Um teste inicial para avaliar seu conhecimento prévio é importante nesses casos. Em cursos curtos, essa avaliação não é um problema, mas em cursos longos, que envolvem programas ou carreiras, essa é uma tarefa árdua. Uma avaliação que abordasse todos os tópicos do curso levaria inúmeras horas (ou dias), exaurindo o indivíduo avaliado e, conseqüentemente, comprometendo a confiabilidade das respostas. Entretanto, uma avaliação que se adapte às respostas do avaliando, como em um processo de busca inteligente, pode tornar o processo mais enxuto e eficiente.

Inúmeros outros casos e cenários podem ser visualizados sob o mesmo contexto. Escolas de idiomas que precisam encaixar um novo aluno em turmas adequadas ao seu nível podem se beneficiar de avaliações enxutas, que direcionam as perguntas procurando explorar de forma eficiente o que o novo aluno sabe ou não sabe. O mesmo vale para empresas e instituições em um processo de seleção com um grande número de candidatos. Nessa situação, normalmente testes são aplicados para otimizar recursos. Porém, se esses abordarem todos os possíveis conteúdos é possível que se tornem extensos e impraticáveis. O que em geral ocorre são testes com um número limitado e pré-definido de questões. Nesse caso, por mais amplo que procure ser, o teste acaba sendo tendencioso em favor de quem estudou os conteúdos específicos abordados nas questões. Novamente, uma avaliação que se adapte ao conhecimento prévio dos candidatos pode ser mais adequada. O mesmo vale para exames de licença e certificações.

Os exemplos supracitados caracterizam situações que requerem avaliações somativas, na qual os participantes podem ser categorizados e/ou ranqueados à partir de uma medida ou índice (nota, por exemplo). Há, entretanto, situações em que se espera avaliações formativas que provejam informações úteis sobre o aprendizado de um aluno, tanto para ele quanto para seu professor. No cenário dos MOOCs citado anteriormente, por exemplo, a impressão inicial de adequação ou não do curso ao aprendiz pode ser falsa. Certos conteúdos podem lhe ser adequados e outros não. Uma avaliação adaptativa capaz de dar um retorno ao aprendiz, direcionando-o às aulas que ele deve estudar, sem exaurilo com perguntas sobre todos os tópicos possíveis, é um dos grandes ganhos da avaliação adaptativa.

É possível, portanto, perceber que há um grande número de situações e contextos nos quais o uso de uma avaliação adaptativa é essencial. Essa percepção não é recente, como mostra a seção seguinte.

### **3.3. Histórico**

Avaliação Adaptativa não é um tópico restrito à educação. Os primeiros trabalhos sobre métodos e estratégias adaptativas surgiram na psicologia, em especial na área de psicometria, com testes diagnósticos (Binet, 1904). O uso de computadores em processos avaliativos veio bem mais tarde, na década de 70. Inicialmente, seu uso visava apenas facilitar a criação e aplicação dos testes. No campo da educação, por exemplo, Thorman utilizou computadores como ferramenta de suporte à criação de testes aleatórios a partir de uma base pré-definida de questões (Thorman, 1977). Isso permitia que um aluno pudesse refazer sua avaliação várias vezes até demonstrar domínio sobre o assunto. A característica

adaptativa nos testes computadorizados surgiu apenas na década seguinte, quando os microcomputadores começaram a ser mais acessíveis. Nessa época, diretrizes e métodos de adaptatividade foram propostos (Green, 1984), bem como modelos formais de estruturas cognitivas úteis para a adaptação (Doignon, 1985). Desse este período, o aumento da capacidade de processamento computacional, o surgimento de novas teorias avaliativas e o advento da internet fizeram surgir novos métodos e abordagens para a adaptação de avaliações, algumas delas exploradas no presente texto.

Nos últimos anos, em função do crescimento da área da Análise do Aprendizado (Learning Analytics - LA) e da necessidade cada vez maior de se personalizar os sistemas computacionais aos seus usuários, a área de Avaliação Adaptativa tem ganhado grande destaque. De fato, avaliações adaptativas estão sendo utilizadas cada vez mais na era dos MOOCs. Mais do que em outros tipos de cursos, nesses, a motivação dos alunos desempenha um papel importante na taxa de evasão. Os modelos também se tornaram mais complexos devido à introdução de incertezas: um avaliando pode acidentalmente ou por falta de atenção errar uma questão, mesmo sabendo do conteúdo, assim como pode igualmente acertar uma questão “no chute”. Apesar da complexidade, o processamento dos critérios usados nas escolhas das questões deve ser suficientemente rápido a ponto de aumentar a ansiedade de quem está sendo avaliado, principalmente quando a avaliação tem um tempo limite para ser realizada.

Para dar uma visão geral sobre como os problemas citados anteriormente podem ser tratados, a próxima seção apresenta algumas das técnicas utilizadas atualmente e avaliação adaptativa.

### **3.4. Principais Técnicas em Avaliação Adaptativa**

Nesta seção, serão apresentadas algumas das técnicas utilizadas em avaliação adaptativa. Os tópicos citados serão apresentados de forma resumida, de forma que possa ter uma visão geral sobre os temas. Entretanto, iremos se aprofundar mais em como usar a Teoria de Espaço de Conhecimento, apresentada na seção seguinte, para criar avaliações adaptativas. Entre elas:

#### **3.4.1. Uso da Teoria de Resposta ao Item (TRI ou do inglês IRT - Item Response Theory) para estimar o quanto um avaliando sabe sobre um assunto**

(De Andrade, 2000) A TRI é um conjunto de modelos matemáticos que procuram representar a probabilidade de um indivíduo dar uma certa resposta a um item como função dos parâmetros do item e da habilidade (ou habilidades) do respondente. Essa relação é sempre expressa de tal forma que quanto maior a habilidade, maior a probabilidade de acerto no item. Os vários modelos propostos na literatura dependem fundamentalmente de três fatores:

- da natureza do item — dicotômicos ou não dicotômicos;
- do número de populações envolvidas — apenas uma ou mais de uma;
- e da quantidade de traços latentes que está sendo medida — apenas um ou mais de um.

A Teoria da Resposta ao Item (TRI), que vem sendo progressivamente introduzida em nosso meio, é um instrumento poderoso nos processos quantitativos de avaliação educacional, pelo fato de permitir, inclusive, a construção de escalas de habilidade calibradas. No entanto, a aplicabilidade da TRI tem encontrado algumas dificuldades, tanto do ponto de vista teórico, devido a problemas de difícil solução no campo da estimação, como do ponto de vista computacional.

### **3.4.2. Diagnóstico cognitivo para facilitar feedback**

(Araujo, 2002) A terapia cognitiva caracteriza-se por ser uma abordagem psicoterapêutica estruturada, de participação ativa entre terapeuta e cliente, voltada para o presente, que se baseia no Modelo Cognitivo e na utilização de técnicas específicas, predominantemente cognitivas e comportamentais, que visam à modificação dos padrões de pensamentos e crenças disfuncionais que causam ou mantêm sofrimento emocional e/ou distúrbios psicológicos no indivíduo.

### **3.4.3. Adaptabilidade baseada em sistemas de recomendação**

(Pereira, 2012) De uma forma geral, os Sistemas de Recomendação visam a determinação de indicações que sejam de interesse direto da pessoa que navega. Este conceito está relacionado com o fato de que, durante uma navegação, frequentemente o usuário encontra um assunto fracamente associado ao assunto inicial, que atrai sua atenção, fazendo-o passar a uma outra trajetória de navegação. Ao analisar-se a navegação, parece que foi realizada de modo fortuito, quase aleatório. Sistemas de Recomendação ou de Navegação contribuem para a construção de uma experiência que seja única, adaptada a cada pessoa, em cada momento.

## **3.5. Knowledge Spaces Theory - KST**

A Teoria do Espaço do Conhecimento (KST) é uma abordagem de avaliação de aprendizagem baseada em um modelo combinatório e probabilístico que permite representar o conhecimento de uma pessoa em um determinado domínio (Doignon, 1985). Vários artigos e livros foram publicados sobre o assunto, porém as duas monografias Doignon e Falmagne (2011) e Falmagne e Doignon (2012) têm maior visibilidade no assunto (Doble, 2019).

Segundo Falmagne (1990), uma habilidade importante de um professor é a capacidade de avaliar eficientemente o conhecimento de um aluno. Para isso, os professores definem perguntas com o objetivo de avaliar o estado em que o aluno se encontra em um determinado domínio. Entretanto, nem sempre os professores são capazes de justificar os detalhes de uma sequência particular de perguntas. As escolhas são normalmente realizadas de forma empírica e subjetiva, fazendo com que o resultado possa ser impreciso. Para contornar esta limitação, o KST sugere uma representação teórica que define de forma objetiva os critérios a serem utilizados na escolha das perguntas. Ele modela o conhecimento que um indivíduo possui sobre um determinado domínio de informação.

Há dois conceitos importantes a saber nesta teoria: estado de conhecimento e espaço de conhecimento. O estado de conhecimento de um indivíduo refere-se a um determinado domínio e é o subconjunto das questões de assuntos que este indivíduo é capaz

de resolver no domínio. Por exemplo, no domínio da Álgebra, um indivíduo pode saber como reduzir expressões matemáticas, resolver equações de 1º grau, mas não saber como resolver sistemas de equações com duas ou mais variáveis. O espaço do conhecimento é a coleção de todos estados possíveis que o aluno pode se encontrar (Falmagne, 2011). No exemplo anterior, são todas as combinações possíveis de assuntos relacionadas à Álgebra. Assim, um indivíduo sendo avaliado pelo KST vai estar sempre em um dos possíveis estados do espaço de conhecimento.

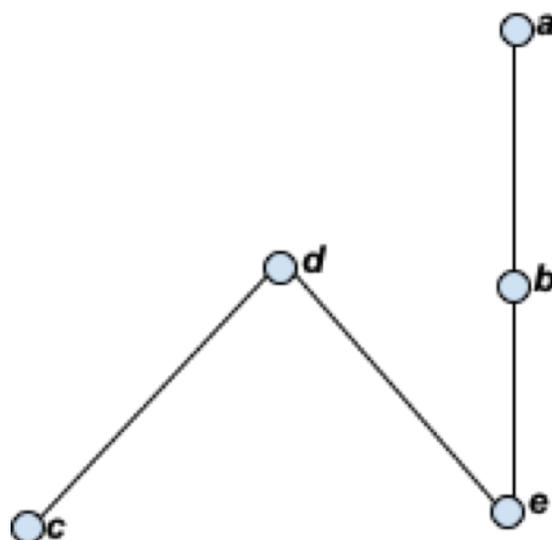
O KST é uma teoria que utiliza dependências entre os problemas em um domínio de conhecimento para estruturar o processo de avaliação e de ensino. O resultado possibilita que o ensino possa se adaptar a cada aluno individualmente. Além dos conceitos já mencionados, outros de suma importância no KST são: (a) relações de pré-requisito ou dependências para estruturar um domínio de conhecimento, isto é, um conjunto de itens, problemas, perguntas, instruções ou objetos de aprendizagem, (b) estados de conhecimento e espaços de conhecimento para estruturação os padrões pontuais dos alunos, e (c) os caminhos de aprendizagem, que descrevem maneiras possíveis de um indivíduo dirigir-se a um estado objetivo pré-definido (Dietrich, 2002).

Um espaço de conhecimento é formalizado como um conjunto de assuntos. Uma assunto pode ser identificada com uma questão ou um problema. Tal teoria é consistente com a idéia de que pelo menos alguns dos assuntos do domínio podem ser adquiridos a partir de diferentes conjuntos de pré-requisitos ou dependências. Em seus estudos iniciais (Falmagne, 1990), as seguintes perguntas foram feitas: Como podemos usar as respostas anteriores dadas por um sujeito a alguns problemas para identificar os estados de conhecimento restantes possíveis? Como podemos usar essa informação para escolher o próximo problema para dar o assunto? Como podemos estruturar o conjunto de problemas para permitir tais inferências, e como o conceito de um estado de conhecimento pode ser definido?

A primeira formalização foi baseada na ideia de que, observando que um aluno é capaz de resolver um determinado problema, pode-se supor que esse aluno também pode resolver outros problemas. Por exemplo, supõe-se que um aluno capaz de resolver equações de segundo grau seja também capaz de resolver equações de primeiro grau. Há, portanto, uma relação de submissão entre estes assuntos, denotados pelo operador  $\preceq$ , cuja interpretação é dada a seguir:

$q \preceq t$  se e somente se, a partir de uma resposta correta ao problema  $t$ , podemos supor uma resposta correta ao problema  $q$  (Doignon, 1985). Ou seja, da observação de uma resposta correta à questão  $t$ , pode-se supor que uma resposta correta também seria dada à questão  $q$ . Assim, é desnecessário explorar o assunto relacionado à questão  $q$  (Doignon, 1985).

Para ilustrar, vamos considerar o conjunto  $X = \{a, b, c, d, e\}$  de conteúdo e as relações de submissão entre eles representada pela Diagrama de Hasse (figura 3.1). É razoável supor que a suposição relação  $S$  é uma ordem parcial (reflexiva, transitiva, anti-simétrica).



**Figura 3.1. Diagrama de Hasse de relação ordem parcial (suposta)  $S$  no caso de  $X = \{a, b, c, d, e\}$**

No Diagrama de Hasse, os nós mais ao alto implicam uma dependência em relação aos nós mais abaixo. Ou seja, no exemplo (figura 3.1), saber  $d$  supõe-se saber também  $c$  e  $e$ , saber  $a$  supõe-se saber  $b$ , que, por sua vez, supõe-se saber  $e$ , e assim por diante. Assim, de acordo com esta representação, existem apenas onze possíveis estados de conhecimento:

$$k = \{\emptyset, \{e\}, \{c\}, \{e, c\}, \{e, c, d\}, \{e, b\}, \{e, b, c\}, \{e, b, d, c\}, \{e, b, a\}, \{e, b, a, c\}, \{e, c, d, b, a\}\}$$

A adaptatividade de uma avaliação através do KST ocorre no processo de identificação de quais desses estados o avaliando se encontra. Este processo é probabilístico porque, para cada estado do espaço de conhecimento, há uma probabilidade do avaliando se encontrar no estado. À medida que questões são respondidas, as probabilidades associadas a cada estado são alteradas em função da resposta estar correta ou errada. Uma questão relacionada ao assunto  $d$  respondida corretamente aumenta a probabilidade dos estados que englobam este assunto. De forma similar, caso a resposta esteja errada, a probabilidade dos estados que possuem  $d$  será reduzida.

Por exemplo, o estado  $\{e, b, a\}$  terá maior probabilidade que os demais caso o aluno não consiga resolver o problema  $c$ , mas consiga, em seguida, resolver o problema  $a$ . Nesse caso, não foi necessário tentar resolver problemas de  $d$ ,  $b$  ou  $e$  por haver uma relação de dependência entre os assuntos, ou seja o domínio de  $e$  e  $b$  pode ser inferido a partir de  $a$ . O estado  $\{e, b, a\}$  passa, assim, a ser considerado o provável estado em que o aluno se encontra com apenas duas questões.

Existem diferentes abordagens e critérios a serem usados para identificar a questão a ser apresentada. Uma delas é escolher a questão de um assunto que promova maior entropia no sistema, maximizando, portanto, as alterações de probabilidade sobre os estados. É importante também definir critérios de parada, ou seja, em que condições ou com

que grau de certeza pode-se afirmar que o aluno encontra-se em um determinado estado do espaço de conhecimento.

O KST identifica as questões mais apropriadas a serem apresentadas baseado nos assuntos e suas relações de dependência. É, portanto, uma abordagem orientada ao conteúdo. Adaptações mais recentes da teoria propõe seu uso através de conceitos de habilidades e competências. A seção seguinte apresenta uma extensão do KST com esse foco.

### **3.5.1. Competence-based Knowledge Spaces Theory - CbKST**

A Teoria do Espaço do Conhecimento (KST) concentra-se completamente em estruturas observáveis e não se refere tanto a objetos de aprendizagem e habilidades ou competências que que estão associadas as tarefas. A Teoria do Espaço do Conhecimento baseadas em competência (CbKST) é uma estrutura para implementar os principais recursos do aprendizado personalizado em aprendizado aprimorado pela tecnologia. A abordagem vincula problemas de avaliação às habilidades relevantes que são ensinadas ou exigidas. A abordagem induz estruturas sobre os problemas de avaliação e objetos de aprendizagem, respectivamente, que podem servir como base para uma avaliação adaptativa eficiente das habilidades dos alunos, bem como para selecionar caminhos de aprendizagem personalizados (Heller, 2006).

O CbKST incorpora dependências entre as habilidades e competências necessárias para resolver os problemas. Esta abordagem atribui a cada problema um conjunto de habilidades que são necessárias para resolver este problema e, para cada objeto de aprendizagem, as habilidades que são ensinadas. Semelhante ao estado de conhecimento, um estado de competência pode ser definido, como um conjunto de habilidades que o aprendiz tem disponível. Além disso, também pode haver relações de dependência entre as habilidades. O CbKST fornece algoritmos para avaliação adaptativa eficiente para determinar o estado atual de conhecimento e competência do aluno. Com base nessas informações do aluno, caminhos de aprendizagem personalizados podem ser criados (Nussbaumer, 2008). Esta teoria possibilita, ainda, avaliar e representar o estado de conhecimento de um aluno individualmente, assim a associação entre os problemas colocados e os conhecimentos necessários para a realização conduz ao diagnóstico de competências - CbKST (Direito, 2010).

Além dos problemas de avaliação, há objetos de aprendizagem (*LO*), que transmitem o conhecimento e as habilidades associadas as atividades educacionais. Portanto, o CbKST lida com três diferentes tipos de entidades, que são: o conjunto de problemas avaliados (*Q*), o conjunto de objetos de aprendizagem (*L*) e o conjunto de competências (*S*) relevantes para resolver os problemas, que são ensinadas pelos objetos de aprendizagem. Cada um desses componentes é considerado dotado de uma estrutura, concebidas como uma coleção de subconjuntos do respectivo conjunto. consideramos (Heller, 2006):

- Uma estrutura de conhecimento sobre o conjunto *Q* de problemas de avaliação;
- Uma estrutura de aprendizagem no conjunto *L* de *LOs* (Learning Objects);
- Uma estrutura de competências no conjunto de competências.

Uma estrutura de competências é formada da identificação de relações de dependências entre competências que restringem o conjunto de estados de competência, ou pode ser resultado da correspondência das competências aos objetos de aprendizagem ou problemas avaliados. As estruturas de aprendizagem e de competências são definidas de modo análogo à estrutura do conhecimento (Espaço de Conhecimento) referida anteriormente para a Teoria do Espaço do Conhecimento, e facilitam a construção de percursos personalizáveis de formação baseada em competências. Desta forma, o primeiro passo a realizar é a identificação das competências que compõem estas estruturas (Direito, 2010).

Devido o KST não se referir tanto a objetos de aprendizagem com habilidades e competências que estão associadas as tarefas, o KST tem que ser estendido para que incorpore referência aos objetos de aprendizagem, habilidades e competências. Ele não apenas integra essas diferentes contribuições, mas também deriva as implicações para a implementação de um sistema de aprendizagem personalizado e esclarece a relação da abordagem com as ontologias de domínio (Heller, 2005).

Importante destacar que Heller (2005), cita os três elementos com a diferença no terceiro citado por Direito (2010), como visto anteriormente, segue abaixo os três elementos citados por Heller (2005):

1. O conjunto  $Q$  de problemas de avaliação
2. O conjunto  $L$  de  $LOs$ ,
3. O conjunto  $S$  de habilidades relevantes para resolver os problemas, e ensinado pelos OAs.

Observe que as habilidades no conjunto  $S$  devem fornecer uma descrição detalhada e de baixo nível das capacidades do aluno. Geralmente, é um conjunto de habilidades que é testado por um problema de avaliação, ou ensinado por um  $LO$ . Cada um desses conjuntos básicos é considerado dotado de uma estrutura, que concebemos como uma coleção de subconjuntos do respectivo conjunto. Em particular, nós consideramos:

- Uma estrutura de conhecimento no conjunto  $Q$  de problemas de avaliação,
- Uma estrutura de aprendizagem no conjunto  $L$  de  $LOs$ ,
- Uma estrutura de competência no conjunto de habilidades  $S$ .

A estrutura de conhecimento forma a base da avaliação baseada em competências. A estrutura de aprendizagem em conjunto com o estado de competência atual do aluno (subconjunto de habilidades disponíveis, elemento de estrutura de competência) é usada para gerar um caminho de aprendizagem personalizada. Estruturas de aprendizagem e competência são definidas em completa analogia com a estrutura de conhecimento apresentada acima.

A relação entre problemas de avaliação e habilidades pode ser formalizada por dois mapeamentos. O mapeamento  $s$  (função de habilidade) associa a cada problema uma

colecção de subconjuntos de habilidades. Cada um desses subconjuntos (ou seja, cada competência) consiste naquelas habilidades que são suficientes para resolver o problema. Atribuir mais de uma competência a um problema chama atenção para o fato de que pode haver mais de uma maneira de resolvê-lo. O mapeamento  $p$  (função de problema) associa a cada subconjunto de habilidades o conjunto de problemas que podem ser resolvidos nele. Ele define uma estrutura de conhecimento porque os subconjuntos associados na verdade não são nada além dos estados de conhecimento possíveis. Foi demonstrado que ambos os conceitos são equivalentes, o que significa que, dada a função de habilidade, a função do problema é determinada exclusivamente e vice-versa. Consequentemente, apenas uma das duas funções precisa ser conhecida para construir a respectiva estrutura de conhecimento. A consideração é limitada à função de habilidade, porque pode ser interpretada como representando a atribuição de metadados aos problemas. Segue-se que a atribuição de metadados (semânticos) a problemas de avaliação coloca restrições nos possíveis estados de conhecimento que podem ocorrer. Em princípio, a função de habilidade para um determinado conjunto de problemas de avaliação também pode introduzir dependências entre habilidades. Essas dependências, no entanto, só podem aparecer no conjunto  $Q$ , e ainda não está claro se elas são válidas em geral. Se capitalizar sobre dependências incidentais entre problemas deve ser evitado, então as restrições que a função de habilidade impõe aos possíveis subconjuntos de habilidades devem ser negligenciadas.

A relação entre o conjunto  $L$  de  $LOs$  e as habilidades em  $S$  é mediada por dois mapeamentos. O mapeamento  $r$  associa a cada  $LO$  um subconjunto de habilidades (competência requerida), que caracterizam os pré-requisitos para lidar com ele ou entendê-lo. O mapeamento associa a cada  $LO$  um subconjunto de habilidades (competência ensinada), que se referem ao conteúdo realmente ensinado pela  $LO$ . De maneira semelhante à descrita acima, os mapeamentos  $r$  e  $t$  podem ser explorados para induzir uma estrutura de aprendizado no conjunto de  $LOs$ , que desempenha um papel central na geração de caminhos de aprendizado personalizados. O par de mapeamentos  $r$  e  $t$  também impõe restrições aos estados de competência que podem ocorrer. Mais uma vez, essas restrições estão vinculadas ao conjunto de  $Ls$ , e podem não ser válidas em geral.

A identificação de habilidades e seus relacionamentos é um aspecto crucial para gerar estruturas de competência. Identificar habilidades analisando apenas  $LOs$  ou problemas de avaliação leva a conjuntos de habilidades específicas associadas a esses  $LOs$  ou problemas, o que é problemático no contexto de um sistema de aprendizado aberto. Outras fontes para estabelecer estruturas de competência devem ser determinadas.

Informações estruturais sobre habilidades podem ser fornecidas por ontologias ou mapas conceituais relacionados a um domínio de conhecimento específico. Por um lado, as ontologias podem servir como um tipo de léxico, incluindo o “vocabulário” relevante (habilidades, conceitos, ...), por exemplo, para facilitar o processo de adicionar novos conteúdos. Por outro lado, ontologias podem fornecer informações estruturais sobre as relações entre os conceitos e habilidades relevantes para a resolução de problemas de avaliação, por exemplo. Essas estruturas ontológicas sobre habilidades ou conceitos podem ser baseadas na análise de currículos e, portanto, não estão restritas a um conjunto particular de  $LOs$ . Além disso, essas relações entre habilidades têm um impacto nas estruturas de conhecimento correspondentes (Heller, 2005).

O restante desta seção aprofunda-se em como aplicar os conceitos do CbKST em um sistema de avaliação adaptativa.

### 3.5.2. Identificando habilidades com subestruturas de um mapa conceitual no CbKST

Esta seção aborda a questão de como identificar habilidades que são relevantes e adequadas para modelar as estruturas de problemas de avaliação e objeto de aprendizagem em relação a um determinado domínio. Heller (2006) propõe utilizar informações provenientes de ontologias de domínio. Uma ontologia permite estruturar um domínio de conhecimento em relação à sua organização conceitual. Constitui uma especificação dos conceitos em um domínio e as relações entre eles e, assim, define um vocabulário comum do domínio do conhecimento. Uma maneira comum e natural de representar ontologias é por mapas conceituais. A informação ontológica fornecida por um mapa conceitual pode ser usada para identificar habilidades e para estabelecer uma estrutura de competência, respectivamente. Na sequência, será descrito uma abordagem a partir de um mapa conceitual

Identificando habilidades com subestruturas de um mapa conceitual. As habilidades em termos de Teoria do Espaço do Conhecimento baseada em competências podem ser identificadas com subestruturas de um mapa conceitual representando a informação ontológica do respectivo domínio. Na verdade, isso pressupõe uma representação bastante refinada, pois é necessário para uma caracterização detalhada do conteúdo de aprendizado, por exemplo. Uma habilidade específica que é necessária para resolver problemas, ou que é ensinada por objetos de aprendizagem, pode ser identificada com um subconjunto das proposições representadas pelo mapa conceitual. Considere, por exemplo, o domínio do conhecimento dos triângulos retângulos. A figura abaixo (figura 3.2) ilustra um possível problema de avaliação deste domínio.

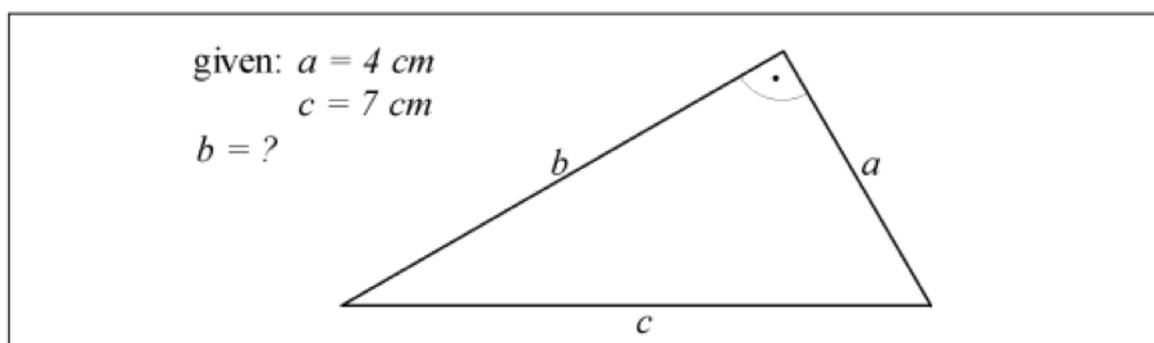


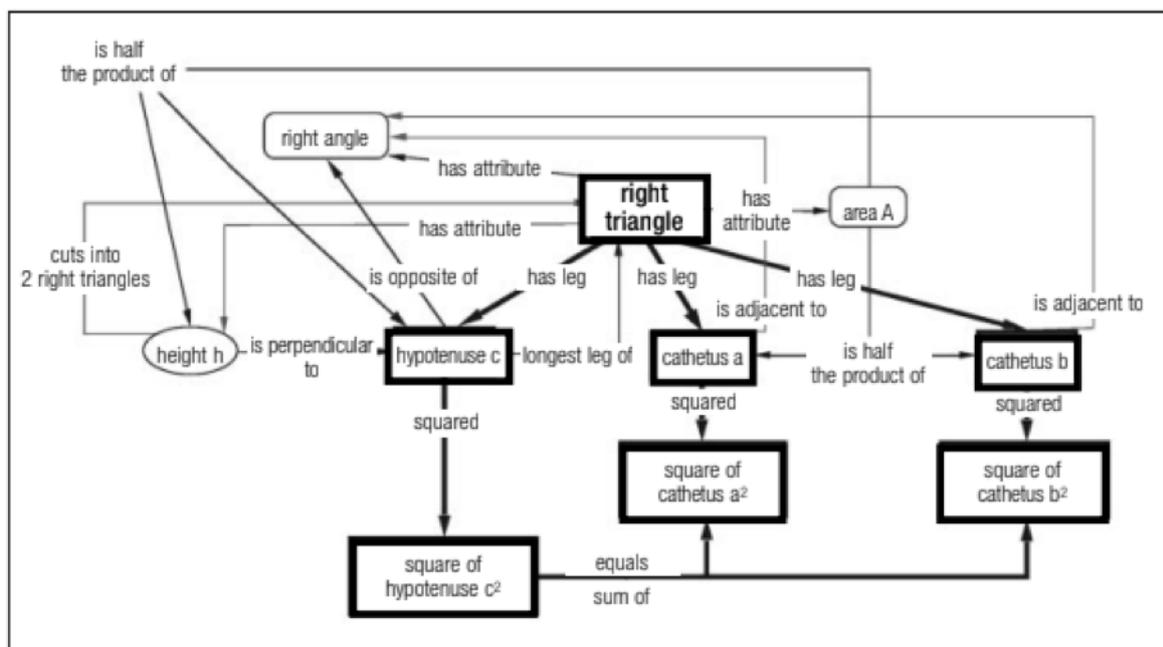
Figura 3.2. Exemplo de um problema de avaliação para o domínio do conhecimento “triângulos retos”

Fonte: Competence-based knowledge structures for personalised learning

Resolver este problema de geometria requer conhecer o Teorema de Pitágoras e como aplicá-lo. Conhecendo o Teorema de Pitágoras pode ser assumido como uma habilidade, que corresponde a uma subestrutura de um mapa conceitual.

A Figura 3.3 fornece um mapa conceitual exemplar que destaca a subestrutura que representa essa habilidade. Note que nem todas as habilidades relevantes podem

ser construídas dessa maneira. A capacidade de aplicar o Teorema de Pitágoras, por exemplo, pode ser considerada como uma habilidade relacionada, mas separada, que deve ser adicionada ao conjunto de habilidades consideradas.



**Figura 3.3. Mapa conceitual do domínio do conhecimento “triângulos retos”. A subestrutura marcada refere-se à habilidade “saber o teorema de Pitágoras”**

Fonte: Competence-based knowledge structures for personalised learning

O currículo formativo não apenas revela os conceitos básicos de um domínio, mas também os objetivos de aprendizagem relacionados a esses conceitos. Os objetivos de aprendizado incluem atividades exigidas do aluno e podem ser capturados pelos chamados verbos de ação. Os verbos de ação (por exemplo, estado ou aplicar um teorema) descrevem o desempenho ou comportamento observável do aluno e podem ser anotados nos nós do mapa conceitual que representam os conceitos que devem ser ensinados. As informações fornecidas pelo mapa conceitual podem ser usadas novamente para estabelecer uma estrutura de competência no sentido da Teoria do Espaço do Conhecimento.

O mapa conceitual fornece uma estrutura hierárquica sobre os conceitos de um domínio. Por exemplo, de acordo com o currículo, o Teorema de Pitágoras constitui um pré-requisito para o Teorema da Altitude. Isto induz uma ordem no conjunto de conceitos. A relação entre os conceitos pode ser representada graficamente como na Figura 3.4 (a). Adicionalmente, uma relação pode ser introduzida no conjunto de verbos de ação A que induz uma estrutura sobre ela. Por exemplo, para “afirmar” um teorema em particular é provavelmente um pré-requisito para “aplicar” o teorema respectivo e, portanto, o verbo de ação “Estado” pode ser considerado como um pré-requisito para o verbo de ação “Aplicar”. A estrutura definida nos verbos de ação também pode ilustrado por um gráfico (veja a Figura 3.4 (b) para um exemplo).

Fonte: Competence-based knowledge structures for personalised learning.

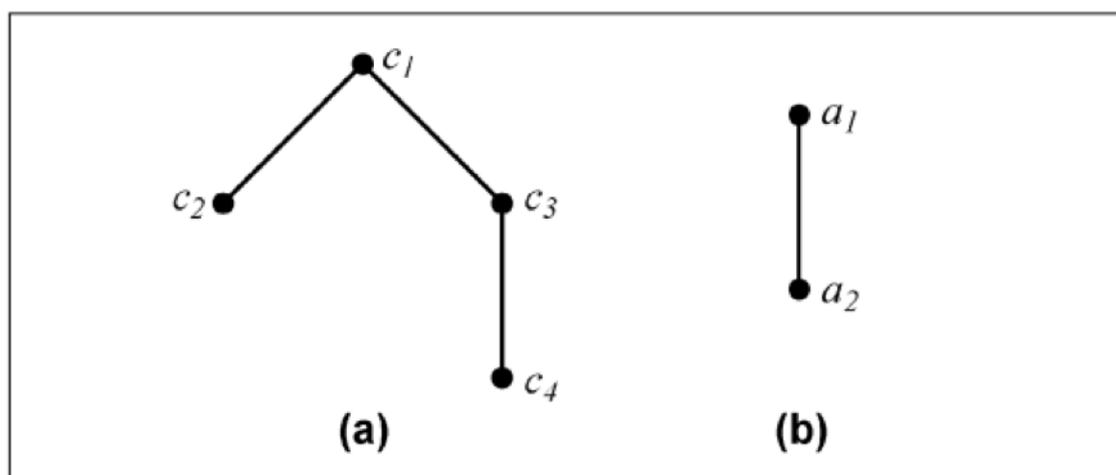
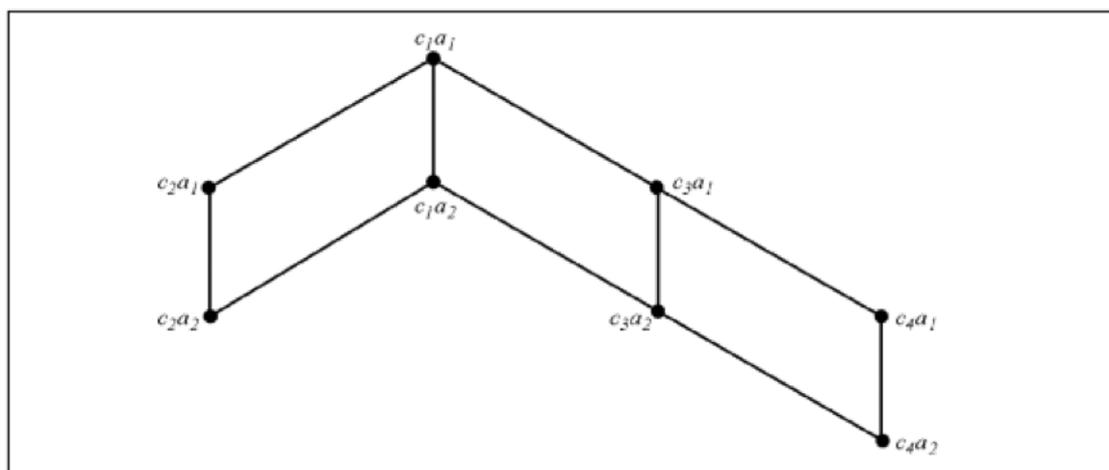


Figura 3.4. Estrutura conceitual (a) e estrutura definida nos verbos de ação (b)

Com base nessas considerações, uma habilidade em termos da Teoria do Espaço do Conhecimento ampliada pode ser identificada com um par que consiste em um conceito e um verbo de ação (por exemplo,  $c_1a_2$ ). Como um exemplo para uma habilidade, considere “aplicar o Teorema de Pitágoras”, que consiste no conceito “Teorema de Pitágoras” e o verbo de ação “Aplicar”. Formalmente definimos o conjunto de habilidades por  $S \subseteq C \times A$  para refletir o fato de que nem todas as combinações de conceitos e verbos de ação podem ser significativos, ou mesmo realizáveis. Uma questão crucial é como mesclar os dois tipos de estruturas, isto é, a estrutura no conjunto de conceitos e a estrutura no conjunto de verbos de ação, para estabelecer uma estrutura no conjunto de habilidades.

Heller sugere abordar o atributo componente. De acordo com essa abordagem, os componentes são entendidos como dimensões, enquanto os atributos são os diferentes valores que essas dimensões podem assumir. No contexto atual, o conjunto  $C$  de conceitos e o conjunto  $A$  de verbos de ação são considerados como componentes, e os atributos são identificados com os respectivos elementos (por exemplo,  $c_1, c_2, c_3, c_4$  em  $C$  e  $a_1, a_2$  em  $A$ ). Em cada componente é definida uma relação que ordena os atributos (veja a Figura 3.4). Uma estrutura no conjunto de habilidades é então estabelecida pela formação do produto direto desses dois componentes, o que resulta em uma relação de pré-requisito no produto cartesiano  $C \times A$ . O produto dos dois gráficos exibidos na Figura 3.4 é a relação representada na Figura 3.5. Com isso você pode ver, por exemplo essa habilidade  $c_2a_2$  é um pré-requisito para as habilidades  $c_2a_1, c_1a_1$  e  $c_1a_2$ , mas para nenhuma das outras habilidades.



**Figura 3.5.** Exemplo de uma relação de pré-requisito sobre as habilidades induzidas pelas estruturas em conceitos e verbos de ação exibidos na Figura 4

Fonte: Competence-based knowledge structures for personalised learning.

Se  $S$  é um subconjunto apropriado do produto cartesiano  $C \times A$ , então consideramos a relação de pré-requisito que o produto direto mostrado na Figura 3.5 induz a  $S$ . No contexto da Teoria do Espaço do Conhecimento baseado em competências, a relação de pré-requisito nas habilidades é interpretada como uma suposição. relação que dá origem à estrutura de competências. Os estados de competência contidos nele devem respeitar a ordenação ilustrada na Figura 3.5, o que significa, por exemplo, que com a habilidade  $c_3a_1$  cada estado de competência deve conter também as habilidades  $c_3a_2$ ,  $c_4a_1$  e  $c_4a_2$ .

### 3.6. Aplicação do Knowledge Spaces Theory

Nesta seção será apresentado alguns sistemas de aprendizagem que utilizam a teoria do espaço de conhecimento, tais como ALEKS (Assessment and Learning in Knowledge Spaces), que usa o KST, e iClass (Intelligent Distributed Cognitive-based Open Learning System for Schools), que utiliza o CbKST.

#### 3.6.1. Assessment and Learning in Knowledge Spaces - ALEKS

ALEKS, acrônimo de Assessment and Learning in Knowledge Spaces (no português “Avaliação e Aprendizagem em Espaços de Conhecimento”), é um sistema Web baseado no KST que tem como objetivo avaliar e instruir estudantes em matemática. O foco principal do sistema é avaliação adaptativa usada para determinar quais tópicos específicos de matemática um aluno já conhece e quais outros precisa aprender. Uma extensão do sistema ALEKS é o Placement, Preparation and Learning ALEKS (ALEKS PPL), que visa determinar o domínio de matemática do ensino médio, além de recomendar a preparação para um curso superior de matemática (Doble, 2019).

O ALEKS usa questionário adaptativo para determinar com rapidez e precisão o que um aluno sabe e não sabe em um curso. ALEKS informa ao aluno sobre os assuntos que ele está mais preparado para aprender. O ALEKS também faz avaliações periódicas com um aluno ao longo do curso para garantir que mantenha os assuntos aprendidos.

O sistema ALEKS, utiliza as relações de dependências definidas no problema como procedimento para avaliar o estado de conhecimento de um aprendiz. Sempre que os problemas em um domínio de conhecimento forem alterados, adicionados ou excluídos, todos os relacionamentos de pré-requisitos entre esses problemas serão alterados e, portanto, as informações de pré-requisitos associadas a cada um dos problemas precisarão ser revisadas, dependendo do tipo de algoritmo utilizado e o formato de entrada de dados, essa revisão poderá ocorrer automaticamente, apenas passando como parâmetros as dependências entre os problemas, ou pode ser resolvido atribuindo habilidades aos problemas relevantes para sua solução. Esta atribuição de habilidades para um problema específico é independente das habilidades associadas a outros problemas. Adicionar novos problemas a um domínio de conhecimento não requer a revisão de todos os problemas, apenas requer uma nova estrutura de conhecimento (Heller, 2005).

### **3.6.2. Intelligent Distributed Cognitive-based Open Learning System for Schools - iClass**

A idéia central do iClass é o aprendizado personalizado, permitindo que o aluno adapte os processos de aprendizagem às suas próprias características e preferências pessoais. O modelo pedagógico iClass aborda e responde a essas questões por meio de uma estrutura unificada composta por três pilares interligados e de apoio mútuo: autorregulação, personalização e motivação. O iClass oferece um conjunto de diretrizes e ferramentas para que os alunos possam refletir e ajustar um conjunto variado de parâmetros e circunstâncias de aprendizado, obtendo um controle próximo e íntimo de seu aprendizado.

O iClass apresenta duas abordagens, que são: CbKST ou Teoria do Espaço do Conhecimento baseado em Competência, e Self-Regulated Learning (SRL) que é um modelo de Aprendizagem Auto-regulada. O CbKST já foi explicado anteriormente neste documento e o SRL pode permitir um nível razoável de escolha em sistemas adaptativos (AVIRAM, 2009). A aprendizagem auto-regulada busca dar ao aluno uma maior responsabilidade e controle sobre todos os aspectos da aprendizagem (aprimorada pela tecnologia).

### **3.6.3. LEA's BOX - A Learning Analytics Toolbox**

O LEA's BOX (<http://leas-box.cognitive-science.at/index.html>) é um projeto de pesquisa e desenvolvimento iniciado em 2014. O projeto objetiva tornar avaliação mais orientada para os objetivos e benéfica para os alunos e a capacitação de professores, oferecendo informações sobre o desempenho dos alunos. A LEA's BOX oferece uma caixa de ferramentas de análise de aprendizado com a finalidade de permitir que os professores realizem análises de aprendizado de várias fontes.

As soluções são baseadas em teorias psico-pedagógicas como a Teoria do Espaço do Conhecimento (CbKST) baseada em Competência e a Análise Formal de Conceitos (FCA). Ela fornece análises qualitativas, descrevendo o conjunto de competências e habilidades que os alunos têm e seus percursos de aprendizagem individuais através de um domínio de aprendizagem.

### **3.7. Exemplo didático de construção de um sistema com base CbKST**

Esta seção demonstrará as etapas necessárias para a construção de um sistema utilizando espaço de conhecimento, no contexto desse trabalho será focado no CbKST. O exemplo abordará a representação do sistema, apresentando as interfaces com outros sistemas, o algoritmo para a construção do espaço do conhecimento, será demonstrado a técnica de construção da estrutura do conhecimento a partir de um modelo de dependências de competências e como os estados do conhecimento podem favorecer a avaliação adaptativa e a aprendizagem personalizada.

Como já foi falado anteriormente neste trabalho, o algoritmo para a construção do CbKST precisará apenas de respostas dicotômicas para aplicar a adaptabilidade de questões para o usuário. Porém quando o usuário do sistema, como por exemplo um aluno fazendo um prova ou uma atividade, iniciar a atividade um grafo com o modelo de competências será construído pelo CbKST, para esta construção inicial será necessário que o sistema que interage com o servidor forneça um grafo de dependências entre as habilidades e competências presentes nas questões. Com base neste mapa de dependências é que o CbKST irá construir o espaço de conhecimento inicial com todas as possibilidades de estados de conhecimento e uma possível probabilidade em cada estado de conhecimento, sendo está padrão para todos os estados.

A seguir teremos algumas seções que demonstrará: o grafo de dependência e a criação do espaço de conhecimento a partir desse grafo, seguindo demonstrará a parte do algoritmo em pseudocódigo, a parte apresentada será o ponto principal de criação do espaço de conhecimento e por fim a representação do sistema e como ocorre a interação com os diversos atores, apresentando a ordem de interação e os diversos papéis e responsabilidade de cada um.

#### **3.7.1. Modelo de dependências de competências e construção dos estados de conhecimentos**

Para a criação do primeiro espaço de conhecimento, o sistema que irá aplicar o algoritmo do CbKST precisará receber um grafo de dependências de habilidades e competências, onde existe uma representação das dependências. Segue abaixo a representação do grafo de dependências, onde cada seta indica a dependência entre as habilidades e competências, que no grafo são representadas pelas seguintes letras: *a, b, c, d, e*.

É importante observar que algumas habilidades não tem dependências, são as que serão utilizadas para serem os testes iniciais, onde se iniciará a investigação do estado de conhecimento. Segue a Figura 3.5:

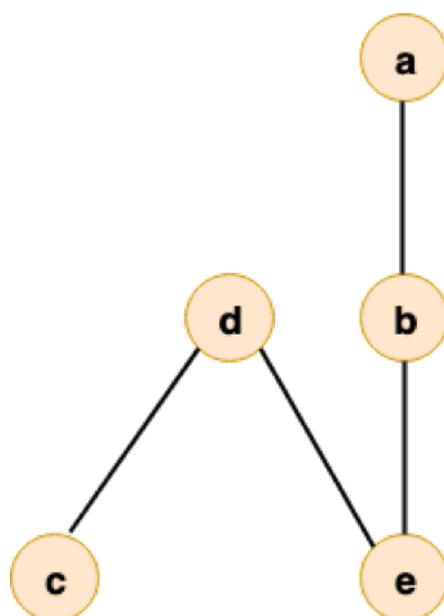


Figura 3.6. Grafo de Dependências

Cada nó representa uma habilidade e as arestas representam as dependências entre elas, os nós  $c$  e  $e$  não dependem de nenhuma habilidade, por isso são candidatos em potencial para iniciarem os testes para a construção do algoritmo. A partir da aplicação do algoritmo para a criação do CbKST temos o seguinte resultado representado na Figura 3.7.

### 3.7.2. Algoritmo para construção do espaço de conhecimento

Nesta seção será explicado o método `setup()` da classe `SkillsSpace`. Este método foi escolhido, pois é o ponto principal da construção do espaço de conhecimento. Assim será possível compreender a lógica de construção do grafo e os recursos utilizados.

O algoritmo apresentado abaixo cria um grafo de estados de conhecimento, no qual cada nó do grafo é um estado e as arestas definem os possíveis caminhos de aprendizado. Um estado é composto por um conjunto de habilidades, oriundas do grafo de habilidades ou grafos de dependências. Assim, o nó do grafo que representa o estado  $\{a,b,c\}$  terá uma aresta dirigida ao nó que representa o estado  $\{a,b,c,d\}$  se e somente se, no grafo de habilidades, o conjunto de habilidades de quem  $d$  depende é um subconjunto de  $\{a,b,c\}$ . É como se dissesse que o aluno pode aprender  $d$  depois que ele já sabe  $\{a,b,c\}$ .

O algoritmo é uma adaptação do algoritmo de ordenação topológica proposto por Kahn (<https://dl.acm.org/citation.cfm?doid=368996.369025>), realizando a busca por níveis de profundidade. A cada nível, o número de habilidades em seus nós é incrementado. Assim, no nível 0, teremos apenas um estado, o estado vazio  $\{0\}$ . No nível 1, teremos nós que representam estados com uma única habilidade, as que não dependem de nenhuma outra habilidade. No nível 2, teremos nós que representam estados com duas habilidades. No nível 3, estados com 3 habilidades e assim por diante.

Nessa construção por níveis, iremos trabalhar com dois conjuntos de nós: os “nós atuais” e os “nós seguintes”. A cada iteração, todos os nós do primeiro conjunto são pro-

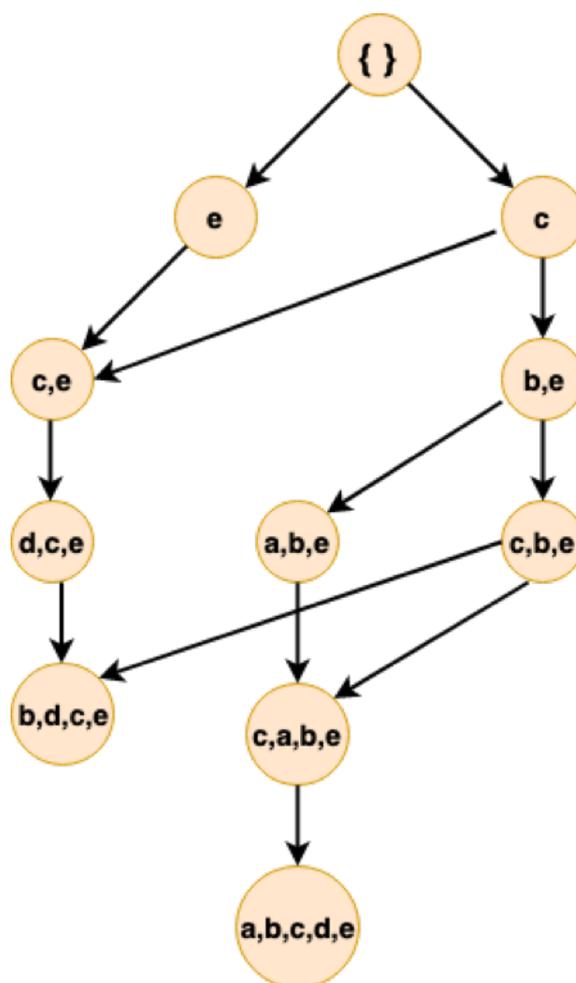


Figura 3.7. Grafo Espaço de Conhecimento

cessados, verificando se novas habilidades podem ser inseridas neles, ou seja, se a partir das habilidades de um nó o aluno pode aprender uma nova habilidade. Se for possível, um novo estado é criado e incluído no conjunto de “nós seguintes”, o que significa dizer que esses novos nós serão processados na iteração seguinte. Para isso, ao final de cada iteração, os “nós seguintes” passam a ser os “atuais” e os “seguintes” são reiniciados como um conjunto vazio novamente.

Uma nova habilidade é inserida em um estado se 1) ela já não se encontrar no estado e 2) o conjunto de seus dependentes estão contidos no conjunto de habilidades do estado. Por exemplo, se a habilidade  $d$  depender de  $a$  e  $b$ , a partir do estado  $\{a,b,c\}$  é possível gerar um novo estado  $\{a,b,c,d\}$ , pois 1)  $d$  não se encontra em  $\{a,b,c\}$  e  $\{a,b\}$  está contido em  $\{a,b,c\}$ .

O pseudo-código do algoritmo é descrito a seguir na Figura 3.8:

**Algoritmo CriaEspaçoDeConhecimento:**

```
Recebe SKILLS, um grafo de habilidades
Seja NO um estado com o conjunto de habilidades { $\emptyset$ } (vazio)
Seja SPACE um grafo com o nó NO
Seja CURR uma lista com o nó NO
Seja NEXT uma lista vazia

Enquanto CURR não estiver vazio faça
  | Para cada nó STATE de CURR faça
  | | Para cada nó SKILL de SKILLS faça
  | | | Se SKILL não pertence às habilidades de STATE
faça
  | | | | Seja DEP o conjunto de habilidades de quem
SKILL depende
  | | | | Se DEP estiver contido no conjunto de
habilidades de STATE
  | | | | | Seja NEW_STATE uma cópia de STATE com a
nova habilidade SKILL
  | | | | | Se as habilidades de NEW_STATE forem
iguais a algum estado EXIST já presente em CURR faça
  | | | | | | Adicione uma aresta dirigida de
STATE a EXIST
  | | | | | Caso contrário
  | | | | | | Adicione NEW_STATE a SPACE
  | | | | | | Adicione uma aresta dirigida de
STATE a NEW_STATE
  | | | | | Insira NEW_STATE em NEXT
  | Faça CURR ser NEXT
  | Faça NEXT ser um conjunto vazio

Retorna SPACE
```

**Figura 3.8. Algoritmo de construção do espaço de conhecimento**

Importante destacar que após a construção do espaço de conhecimento, o próximo passo e não menos importante é a adaptabilidade. Este espaço de conhecimento que irá definir o itinerário de perguntas numa prova, por exemplo. Após o espaço de conhecimento criado o sistema indicará quais habilidades deverão ser investigadas a partir da resposta fornecida pelo aluno, sendo certa ou errada, o próximo estado de conhecimento a ser investigado será definido dependendo da resposta. Vale ressaltar que ao final da prova, o espaço de conhecimento representará o estado atual do aluno, o espaço de conhecimento é um modelo do aluno sobre cada habilidade, um modelo matemático probabilístico deverá ser utilizado para definir o possível estado de conhecimento que o aluno se encontra.

A seguir, na próxima seção, será apresentado o sistema e como ocorre a comunicação com o usuário e com outros sistemas.

### 3.7.3. Representação do Sistema

Abaixo encontra-se a figura com a representação do sistema e a interface com a interação com o banco de dados, usuário e aplicação. O Sistema do CbKST estará no servidor, onde ficará aguardando as respostas oriundas da aplicação, para análise e adaptabilidade da avaliação.

A aplicação é desacoplada do serviço do CbKST, pois assim qualquer sistema que deseje trabalhar com adaptabilidade poderá utilizar o algoritmo para adaptabilidade e construção do espaço de conhecimento. O banco de dados, representa o banco de questões, com habilidades e competências associadas a cada uma das questões, a aplicação consome as questões de acordo com as indicações do serviço do CbKST. Por fim o usuário que com um aparelho eletrônico se conectará a uma determinada aplicação para uso do sistema.

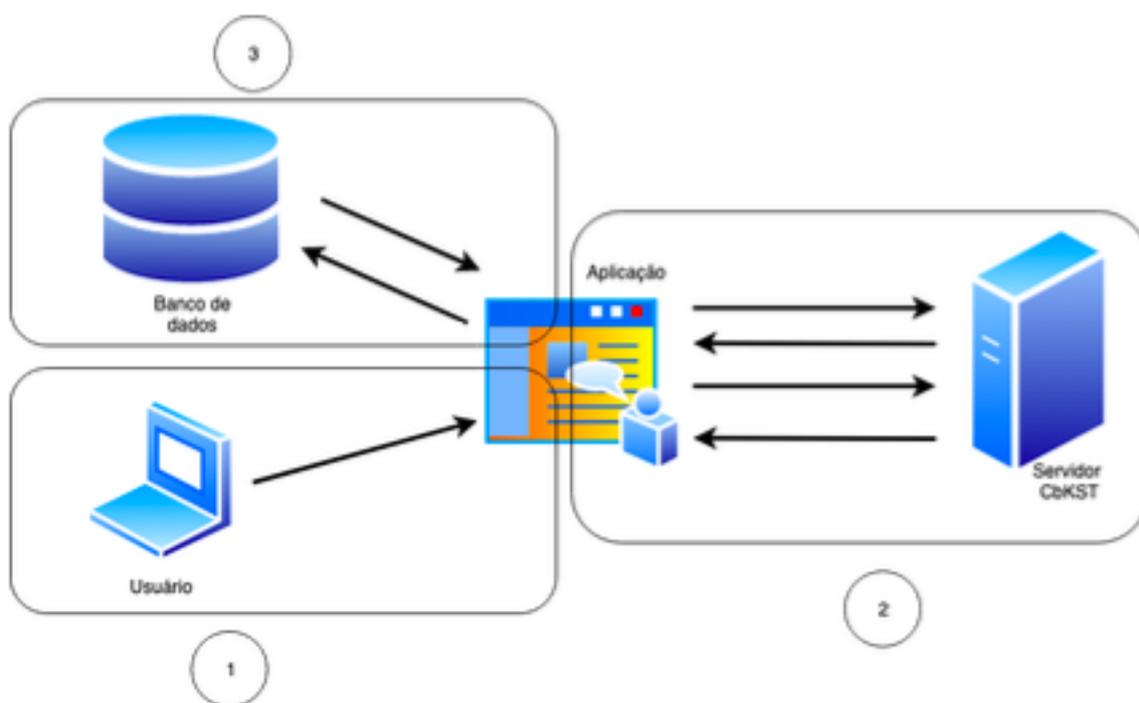
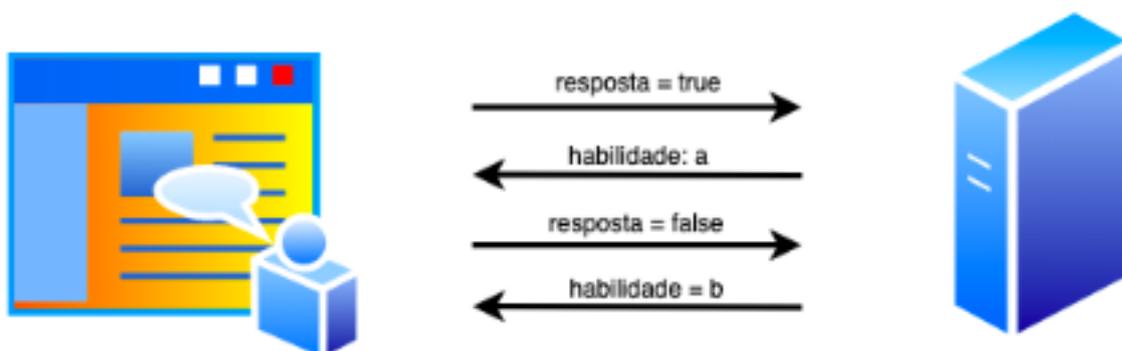


Figura 3.9. Diagrama do sistema proposto

A interação representada pelo número 1, indica que um usuário poderá se conectar a qualquer sistema (aplicação) para uso que faça interface com servidor de serviço do CbKST. Esta aplicação poderá ser um sistema WEB com questões de exercícios para treinamento ou estudos, ou um sistema de provas, poderá ser um jogo que trabalhe com adaptabilidade, dentro outros. O desacoplamento favorece que o serviço utilizado para fornecer adaptabilidade possa conectar-se a qualquer outro sistema. Desde que use tecnologia REST para comunicação com o servidor.

A interação representada pelo número 2, exibe através de várias setas as diversas comunicações que ocorrerá durante a atividade de adaptabilidade. Quando o usuário se conecta a aplicação e inicia a atividade, após a construção do espaço de conhecimento pelo sistema, o sistema do CbKST sugere uma questão de uma determinada habilidade, claro que neste momento lembrando que dependendo do grafo de habilidades ou grafo de dependências as habilidades que serão investigadas inicialmente não tem dependências de outras habilidades. Após o sistema do CbKST sugerir a habilidade a ser investigada, a aplicação que o usuário está trabalhando faz uma consulta ao banco de dados, banco de questões, que retornará com uma questão sobre a habilidade sugerida pelo serviço do CbKST. Após a apresentação da questão para o aluno, ele irá responder e a aplicação enviar a resposta para o serviço, com true ou false, assim o serviço irá saber se a resposta foi correta ou incorreta e o algoritmo fará novamente a sugestão de outra habilidade, e com isso irá adaptando a probabilidade de cada estado de conhecimento, dependendo claro das respostas respondidas. Veja abaixo a representação mais detalhada:



**Figura 3.10. Diagrama de interação com o servidor**

A cada interação com o servidor a aplicação deverá fazer uma consulta ao banco de dados, para que o mesmo retorne com uma questão que corresponde a habilidade atual que está sendo investigada pelo servidor. Um dos desafios desse trabalho é manter uma base de dados abastecida com diversas questões e habilidades disponíveis para o sistema. Caso o usuário erre uma questão relacionada a uma habilidade e o serviço comece a investigar essa habilidade, as respostas para perguntas como: Qual a condição de parada da investigação? Quantas perguntas serão feitas? Qual momento de passar para outra habilidade? Essas são perguntas que estão dentro do escopo de proposta de melhoria desse trabalho.

### **3.8. Considerações Finais**

Nesta seção serão apresentados os benefícios, limitações do uso do KST, proposta de melhorias, bem como as suas diversas aplicações e potencialidade no campo das pesquisas.

Este trabalho trará como contribuição para a educação uma proposta de melhoria em avaliação adaptativa que considere representações cognitivas como espaço de conhecimento, tornando a avaliação mais individualizada melhorando o diagnóstico das deficiências do aluno, focando assim em suas necessidades. O desenvolvimento de uma solução mais genérica tem como objetivo contribuir com outras áreas fora da computa-

ção que utilizem dependência entre conteúdos ou habilidades para definição de espaço do conhecimento: Matemática, Ortografia, saúde, etc.

Como aspecto de melhorias vem a aplicação na área de ensino de programação que contribuirá com avaliações adaptativas que não considere apenas os resultados de saídas dos algoritmos, mas sim como ele foi construído, analisando assim o domínio dos conceitos que envolve as questões. Para isso será desenvolvido uma solução e adaptação dos algoritmos que, além de saber se a resposta foi certa ou errada, como ele construiu a solução será levado em conta. Isso ocorrerá com análise de árvore sintática.

Por exemplo, caso um aluno tenha dificuldade em resolver um problema cuja solução envolva condicionais, laços e listas, quais desses elementos o aluno precisa trabalhar? Os três? Dois deles? Apenas um? Uma avaliação adaptativa pode direcionar os alunos com dificuldade para problemas menores de forma a facilitar a identificação do que se precisa aprimorar individualmente. Alunos diferentes com repostas da saída do algoritmo correta, podem ter utilizados conceitos diferentes, estruturas diferentes, conhecer não só o resultado e sim o como a questão foi construída poderá tornar a adaptabilidade mais individualizada. Este tipo de abordagem é uma caixa preta em relação como a resposta foi construída, como o estudante desenvolveu seu raciocínio. Tratando-se de avaliação é importante aferir como a resposta foi desenvolvida, para desconsiderar respostas resultantes de sorte, palpites ou até mesmo falta de atenção, bem como analisar a eficiência ou otimização da resposta.

Ainda como melhoria, surge a seguinte questão: como fazer este tipo de análise, onde se investiga como o aluno construiu a resposta usando o KST se ele utiliza apenas respostas dicotômicas para construir o espaço de conhecimento? Sendo assim este estado trabalho propõe uma proposta de melhoria no algoritmo para adaptabilidade, um estudo de aplicação do ECD (Evidence-Centered Design) junto com o KST e construção de um sistema de avaliação adaptativa com base em espaço de conhecimento que considere questões não dicotômicas.

### **3.8.1. Proposta de melhoria das limitações do KST utilizando Evidence-Centered Design - ECD**

O design centrado em evidências fornece uma estrutura de projeto conceitual para os elementos de uma avaliação, em um nível que suporta uma ampla gama de tipos de avaliação. A criação de avaliação em tal estrutura garante que a maneira pela qual as evidências são coletadas e interpretadas se baseiam nos conhecimentos e propósitos que a avaliação pretende abordar (Mislevy, 2003). A estrutura de projeto baseia-se nos princípios do raciocínio probabilístico e nas exigências da produção e entrega da avaliação. A captura e análise dos dados gerados durante a realização das tarefas identificam adequadamente o desenvolvimento de competências de diferentes alunos (Medeiros, 2017). Mislevy, Steinberg e Almond (2000) descrevem o ECD como uma “Estrutura de princípios para projetar, produzir e fornecer avaliações educacionais”.

O ECD define uma estrutura que consiste em três modelos: modelo de competências, de evidências e o de tarefas. Tais modelos funcionam em conjunto para coletar informações que permitem ao avaliador fazer inferências válidas sobre o que as pessoas sabem, acreditam e podem fazer. A vantagem do uso de ECD é que as avaliações são

definidas conforme as competências que se deseja construir com os alunos, durante o processo de desenvolvimento da avaliação. Desta forma, as tarefas disponibilizadas devem reverter em dados e informações que forneçam informações sobre as competências para essa avaliação (Medeiros, 2017). O ECD não se preocupa apenas com o resultado das tarefas, mas é um framework que apoia a criação, coleta, análise e resultado.

O ECD divide todo o processo de projetar, desenvolver e usar testes em cinco grupos de atividades chamados “camadas”: 1) Análise de Domínio, 2) modelagem de domínio, 3) Estrutura Conceitual de Avaliação, 4) Implementação de Avaliação e 5) Avaliação de Entrega (Zieky, 2014). A camada Análise de Domínio consiste na definição de um domínio e suas características, perguntas podem ajudar na definição dessa camada, tais como: Quais são os conhecimentos, habilidades e atributos mais importantes? Como eles são representados? Como estão relacionados uns com os outros? A Camada Modelagem de domínio desenvolve uma investigação do domínio do mundo real com o propósito de construir um argumento de avaliação. O argumento de avaliação é “Se (X), então (Y) porque (Z)”. X é uma observação do comportamento do candidato ou um produto desse comportamento. Aspectos relevantes do comportamento ou produto formam os dados nos quais a reivindicação é baseada. Y é uma alegação de que o participante do teste possui ou não possui alguma habilidade ou conhecimento, e Z explica porque o comportamento ou produto demonstra a posse (ou a falta de) do conhecimento ou habilidade. Por exemplo, um bombeiro aspirante pode completar com sucesso uma tarefa (X) que requer arrastar um manequim de 45kg por um corredor cheio de fumaça dentro de um limite de tempo especificado. A capacidade de concluir a tarefa é uma demonstração parcial de que o participante do teste tem a força e a velocidade necessárias para ser um bombeiro (Y), porque a tarefa replica aspectos físicos importantes do trabalho do bombeiro sob condições realistas (Z) (Zieky, 2014).

A terceira camada Estrutura Conceitual de Avaliação (CAF) contém muitas das “Ferramentas” de ECD usadas pelos desenvolvedores de teste, como o Student Model, o Evidence Model, o Task Models e o Assembly Model, de acordo com a Figura 3.11.

As estruturas nesta terceira camada na abordagem do ECD refletem um argumento de avaliação, começando a articular o argumento de avaliação em processos necessários para implementar uma avaliação que incorpore esse argumento. As estruturas no CAF são expressas como objetos, como variáveis, esquemas de tarefas e mecanismos de pontuação. A substância assume a forma de valores particulares para esses variáveis, ou para o conteúdo e configurações (Mislevy, 2011).

O modelo de estudante (Student Model) também chamado de modelo de competências é usado como uma representação simplificada do estudante, mostrando as habilidades e conhecimento relevantes que o mesmo tem. Esse modelo contém as habilidades e conhecimentos que são foco da avaliação, de acordo com a evolução do teste esse modelo vai sendo atualizado indicando uma estimativa da probabilidade atual do participante.

Os modelos de evidências (Evidence Models) baseiam-se nos comportamentos observáveis ou variáveis observáveis resultantes de respostas a uma tarefa específica. O trabalho na criação do modelo de evidência é descrever em detalhes os aspectos dos comportamentos observáveis ou variáveis observáveis que fornecem evidências de que os estudantes têm os conhecimentos e habilidades que são o foco da medição em uma ta-

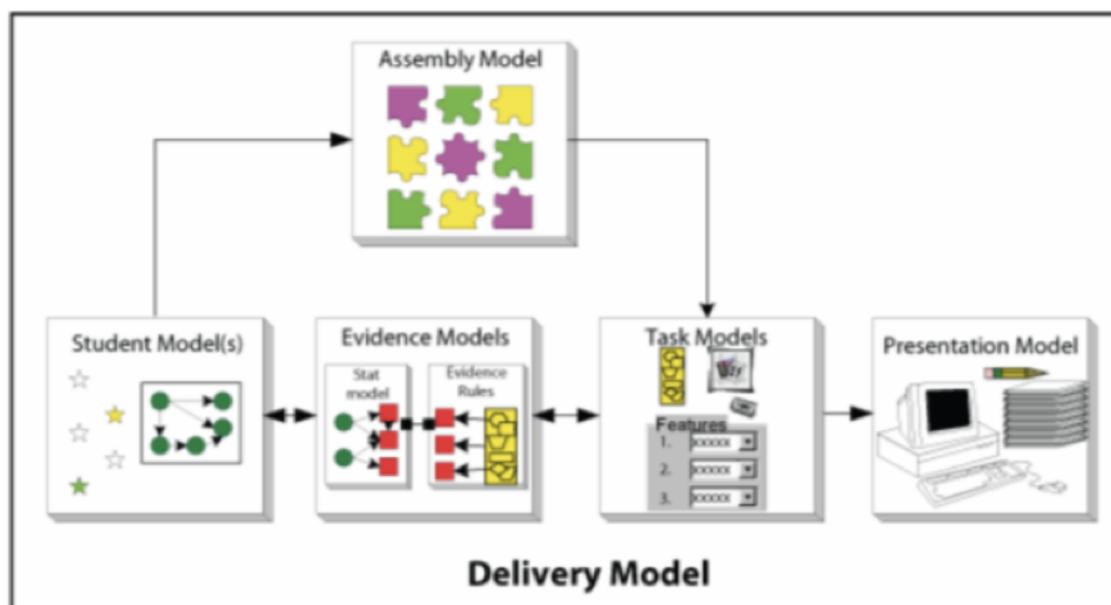


Figura 3.11. Camada Estrutura Conceitual de Avaliação

refa. Um comportamento ou variável observável pode fornecer evidências sobre várias proficiências (Mislevy, 2011).

O Modelo de Tarefa (Task Model). Uma tarefa é simplesmente algo específico que o estudante terá que responder, como selecionar uma opção em um item de múltipla escolha, escrever uma redação ou executar a ação necessária em resposta a um item de desempenho. Um modelo de tarefa deve estar ligado ao(s) aspecto(s) do modelo de evidência para o qual fornecerá informações.

Modelo de Assembly, descreve como será o teste como um todo. Este modelo contém as informações necessárias para construir formas paralelas do teste. Os Algoritmos usados para gerar conjuntos de testes e computador fazem parte desde modelo. Atributos estatísticos desejados do teste como um todo devem ser indicados no modelo de montagem, incluindo dados como a dificuldade média pretendida e a discriminação média, a distribuição da dificuldade da tarefa, a confiabilidade desejada do(s) score(s) relatado(s) e o nível pretendido de rapidez (Zieky, 2014).

A quarta camada de implementação de avaliação está relacionada aos trabalhos de desenvolvimento de testes tradicionais de escrever itens e montar formulários de teste. Uma das ferramentas do ECD usada na camada de implementação de avaliação é o shell da tarefa. Esta camada usa shell de tarefas responsável por gerar tarefas que utilizam uma estrutura com elementos variáveis, uma descrição ou lista do que pode servir como elementos variáveis. Resumidamente é um gerador de tarefas (Zieky, 2014).

Por fim a última camada é a Camada de Entrega de Avaliação, como o nome indica, na camada de entrega da avaliação: o teste. O ECD considera a entrega da avaliação como consistindo geralmente em quatro processos: 1) Seleção de atividades, 2) Apresentação, 3) Processamento de respostas e 4) Pontuação resumida (Zieky, 2014).

Para este trabalho pretende-se focar na terceira camada Estrutural Conceitual de Avaliação (CAF), pois contém elementos relacionados aos objetivos do KST.

### **3.8.2. Proposta da Utilização do ECD com o KST**

Em uma avaliação adaptativa onde se utiliza o KST, é desconsiderado a forma como a resposta foi construída, preocupando-se apenas com o resultado final. Isso deve ao fato de que o estado do conhecimento de um indivíduo é construído a partir de respostas dicotômicas, ou seja, as respostas são codificadas apenas em duas categorias: corretas ou incorretas. Este tipo de abordagem é uma caixa preta em relação como a resposta foi construída, como o estudante desenvolveu seu raciocínio. Tratando-se de avaliação é importante aferir como a resposta foi desenvolvida, para desconsiderar respostas resultantes de sorte, palpites ou até mesmo falta de atenção, bem como analisar a eficiência ou otimização da resposta. Este trabalho propõe a construção de um modelo de habilidades levando em consideração questões não dicotômicas, para isso será estudado como outra técnica de avaliação ECD poderá colaborar na definição desse modelo.

Quando o objeto de estudo são disciplinas de programação, como lógica de programação, avaliar não só a saída do programa, mas sim como foi construído o algoritmo é muito importante, considerar apenas a saída muitas informações são perdidas. Apesar do KST poder ser aplicado a qualquer assunto, iremos considerar neste trabalho como estudo de caso, alunos de lógica de programação, devido a característica acima citada.

### **Referências**

- ARAÚJO, Cristiane Figueiredo; SHINOHARA, Helene (2002). Avaliação e diagnóstico em terapia cognitivo-comportamental. *Interação em Psicologia*, v. 6, n. 1.
- AVIRAM, Aharon; DOTAN, Igal. (2009) When the virtual meets virtue: From e-learning to e-education.
- BINET, Alfred; SIMON, Th. (1904). Méthodes nouvelles pour le diagnostic du niveau intellectuel des anormaux. *L'année Psychologique*, v. 11, n. 1, p. 191-244.
- DE ANDRADE, Dalton Francisco; TAVARES, Heliton Ribeiro; DA CUNHA VALLE, Raquel. (2000). Teoria da Resposta ao Item: conceitos e aplicações. ABE, Sao Paulo.
- DIETRICH, Albert; HOCKEMEYER, Cord; WESIACK, Gudrun. (2002). Current trends in eLearning based on knowledge space theory and cognitive psychology. *Psychological Test and Assessment Modeling*, v. 44, n. 4, p. 478.
- DIREITO, Inês; PEREIRA, Anabela M. Sousa; DE OLIVEIRA DUARTE, A. Manuel. (2010). A representação do conhecimento e competências: contributos da psicologia cognitiva para sistemas de aprendizagem apoiados por computador.
- DOBLE, Christopher et al. (2019). A Data-Based Simulation Study of Reliability for an Adaptive Assessment Based on Knowledge Space Theory. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, p. 1-25.
- DOIGNON, Jean-Paul; FALMAGNE, Jean-Claude. (1985). Spaces for the assessment of knowledge. *International journal of man-machine studies*, v. 23, n. 2, p. 175-196.

- DOIGNON, Jean-Paul; FALMAGNE, Jean-Claude. (2012). Knowledge spaces. Springer Science & Business Media.
- FALMAGNE, Jean-Claude et al. (1990). Introduction to knowledge spaces: How to build, test, and search them. *Psychological Review*, v. 97, n. 2, p. 201.
- FALMAGNE, Jean-Claude; DOIGNON, Jean-Paul. (2011). Learning spaces: Interdisciplinary applied mathematics. Springer Science & Business Media.
- GREEN, Bert F. et al.(1984). Technical guidelines for assessing computerized adaptive tests. *Journal of Educational Measurement*, v. 21, n. 4, p. 347-360.
- HELLER, Jürgen et al. (2005). Competence-based knowledge structures for personalised learning: Distributed resources and virtual experiments. In: Proceedings of the 1st International EleGI Conference on Advanced Technology for Enhanced Learning. Swindon Wiltshire, UK: The British Computer Society (BCS).
- HELLER, Jürgen et al. (2006). Competence-based knowledge structures for personalised learning. *International Journal on E-learning*, v. 5, n. 1, p. 75-88.
- KIILI, Kristian et al. (2012). The design principles for flow experience in educational games. *Procedia Computer Science*, v. 15, p. 78-91.
- MEDEIROS, Handerson Bezerra; DA SILVA ARANHA, Eduardo Henrique; NUNES, Isabel Dillmann. (2017). Avaliação de Habilidades e Competências Baseada em Evidências e Jogos Digitais. *Jornada de Atualização em Informática na Educação*, v. 6, n. 1, p. 1- 35.
- MISLEVY, Robert J.; ALMOND, Russell G.; LUKAS, Janice F. (2003). A brief introduction to evidence-centered design. *ETS Research Report Series*, v. 2003, n. 1, p. i-29.
- MISLEVY, Robert J. et al. (2000). Bayes Nets in Educational Assessment: Where Do the Numbers Come from? *CSE Technical Report*.
- MISLEVY , Robert; RICONSCENTE, Michelle. (2011). Evidence-centered Assessment Design: Layers, Structures, and Terminology (PADI Technical Report 9).
- NUSSBAUMER, Alexander; STEINER, Christina; ALBERT, Dietrich. (2008). Visualisation tools for supporting self-regulated learning through exploiting competence structures. In: Proceedings of the international conference on knowledge management (IKNOW 2008). Verlag der Technischen Universität Graz, p. 3-5.
- PEREIRA BARRETTO, Marcos R.; FUKS, Willian J.; COZMAN, F. G. (2012). ADAPTABILIDADE EM SISTEMAS DE RECOMENDAÇÃO: PERSPECTIVAS. *Revista de Sistemas e Computação-RSC*, v. 2, n. 2.
- THORMAN, Joseph H. (1977). Computer assisted testing: An alternative assessment option for students. *Computers & Education*, v. 1, n. 4, p. 207-209.
- ZIEKY, Michael J. (2014). An introduction to the use of evidence-centered design in test development. *Psicología Educativa*, v. 20, n. 2, p. 79-87.