

METACOGNIÇÃO COMO PROCESSO DE APRENDIZAGEM VISANDO A CONSTRUÇÃO DE RESPOSTAS ADAPTATIVAS EM PROFISSIONAIS QUE ATUAM EM SISTEMAS COMPLEXOS

Fábio Roberto Lapolli, lapollimaster@yahoo.com.br

Graduate Program in Informatics-NCE&IM, CCMN - Bloco C, Cidade Universitária - Ilha do Fundão, Rio de Janeiro-RJ, Brazil

Cláudia Lage Rebello Motta, mailto:claudiam@nce.ufrj.br

Graduate Program in Informatics-NCE&IM, CCMN - Bloco C, Cidade Universitária - Ilha do Fundão, Rio de Janeiro-RJ, Brazil

Jose Orlando Gomes, joseorlando@nce.ufrj.br

Carlo Emmanuel Tola, carlo@nce.ufrj.br

Keywords: *Metacognição, Sistemas Complexos, Resiliência, Objetos de Aprendizagem, Resposta Adaptativa, Elaboração Dirigida, Análise das Tarefas Cognitivas*

Abstract. *The metacognition can encourage students to identify rules through the recursive nexus where the invariance of languages provide the path to the field of knowledge and cognitive leap between levels of learning, making the student "learn to learn." This ability to identify the invariance and conceive rules can develop in professionals engaged complex systems the logical reasoning needed for a variable and flexible ATC operation, suitable for a successful adaptive response. This work presents a proposal for the creation of Learning Objects that allow a correlation of meaning between the different levels of language and cognitive ability of the student.*

Resumo. *A metacognição permite estimular os alunos a identificar regras através do nexo recursivo onde as invariâncias das linguagens fornecem o caminho para o domínio do conhecimento e o salto cognitivo entre os níveis de aprendizado, fazendo com que o aluno "aprenda a aprender". Essa capacidade de identificar as invariâncias e constituir regras pode desenvolver nos profissionais que atuam em sistemas complexos o raciocínio lógico necessário ao controle variável e flexível, próprios de uma resposta adaptativa bem sucedida. Neste trabalho apresentamos uma proposta de criação de Objetos de Aprendizagem que permita estabelecer uma correlação de significados entre os diferentes níveis de linguagem e a capacidade cognitiva do aluno.*

1. INTRODUÇÃO

Os controladores de tráfego aéreo atuam como mediadores das relações entre os vôos sob sua orientação onde cada procedimento operacional é único. Assim, a associação de suas habilidades cognitivas e as mensagens dos diversos artefatos tecnológicos que operam, evidencia sua ação. As tarefas cognitivas, em uma configuração normal de operação do sistema, exigem a capacidade adaptativa do controlador mediante a imprevisibilidade do ambiente em que trabalha.

Com o crescimento do tráfego aéreo e o excesso de aeronaves, há um aumento na sobrecarga do sistema e principalmente sobre os operadores. Essa situação coloca a prova o conhecimento adquirido pelo controlador em seu treinamento e a capacidade cognitiva, de abstração, percepção visual e espacial, para a interpretação de símbolos e números de uma série de instrumentos de gerenciamento da navegação das aeronaves. A formação de profissionais como os controladores que atuam dentro de sistemas complexos exige a adequação da metodologia de formação a corresponderem de forma resiliente às variabilidades do sistema e do ambiente através de respostas adaptativas. A metodologia de formação deve considerar a identificação de invariâncias onde através do nexo recursivo é possível estabelecer a lógica de uma regra e assim estruturar o conhecimento necessário para responder de forma bem sucedida frente às variabilidades. Essa abordagem de aprendizagem é conhecida como metacognição (Seminério, 1985). Neste trabalho apresentamos a metacognição como processo de aprendizagem visando à construção de respostas adaptativas em profissionais que atuam em sistemas complexos.

Este artigo está dividido em nove seções. Nas seções 2, 3 e 4 apresentamos os sistemas complexos, engenharia de resiliência e análise das tarefas cognitivas. Na seção 5 apresentamos a metacognição e as respostas adaptativas (elaboração dirigida). Na 6, identificamos o escopo trabalhado e na 7 apresentamos um Objeto de Aprendizagem desenvolvido sobre a ótica da teoria proposta. Na seção 8 falamos da metodologia de avaliação da ferramenta e por fim apresentamos as conclusões desta proposta.

2. SISTEMAS COMPLEXOS

O controle do espaço aéreo pode ser definido como um sistema complexo, por ser um conjunto de elementos interdependentes que interagem de forma organizada, baseado em regras simples, porém não lineares (Perrow, 1999).

Com a evolução tecnológica o conhecimento vem sendo codificado e traduzido através de significados a fim de compactar esse volume cada vez maior de informação. O processo de automação dentro dos sistemas vem diminuindo os desafios cognitivos e simplificando conhecimento que o operador deveria deter a fim de sintetizar as tarefas cognitivas e operacionais durante o desempenho de sua função. Esse reducionismo diminui o tempo de resposta entre as ações, mas, se por um lado a automação diminui o tempo perdido com tarefas que exigiam um alto nível de cognição, retirou também a necessidade de reter o conhecimento elementar que está por traz do funcionamento do equipamento. Esse conhecimento, em muitos casos é a base para uma resposta adaptativa em momentos de adversidade.

Os operadores de sistemas complexos adquirem conhecimento e habilidade principalmente na prática, quando vivenciam as demandas do sistema, criando um modelo mental, representativo das variabilidades as quais já se depararam e passam a identificar invariantes operacionais que lhes propiciaram a retomada do controle do desempenho do sistema.

Nesse mapeamento, Woods *et al.* (2006) consideram que esta análise contempla a avaliação das condições de conhecimento, dinâmica atencional, e estratégia que são as classes de fatores cognitivos que, regem como as pessoas formam a intenção para a ação e como esses fatores podem levar a falha ou incerteza na execução da tarefa (Tabela 1).

Tabela 1 - Fatores cognitivos determinantes da formação da ação

Fatores Cognitivos	Implicações Cognitivas	Conflitos Presentes
Conhecimento	Conhecimento impreciso, simplificação, calibração do conhecimento, modelo mental	Domínio incompleto do conhecimento, imperfeição, contradição
Dinâmica Atencional	Percepção situacional, fixação	Limite atencional demandado por múltiplas variáveis
Estratégia	Tomada de decisão, determinação do risco	Conflito de metas, regras que não se aplicam a todos os casos, questões organizacionais

3. ENGENHARIA DE RESILIÊNCIA

Para sistemas complexos, a engenharia de resiliência é uma disciplina fundamental na gestão da segurança, onde melhorias são propostas a partir da análise das variabilidades do ambiente e das relações entre elementos heterôgeneos, humanos e não-humanos que impõem um alto grau de complexidade no desempenho de tarefas cognitivas.

A resiliência é um paradigma que se concentra em entender como as pessoas lidam sob pressão com a complexidade do sistema de forma bem sucedida (Hollnagel et al., 2006). A resiliência é centrada na fiscalização dos limites e condições do atual modelo de competência ou da ampliação e adaptação ao modelo que melhor acomodar novas exigências. O aumento da demanda do tráfego aéreo vem conseqüentemente proporcionando o aumento da carga cognitiva, criando um ambiente operacional em que os fatores humanos são cada vez mais exigidos.

3.1. Incidentes e a capacidade adaptativa do sistema

Enquanto o funcionamento dos sistemas permanece estável, não há possibilidade de identificar as conexões instáveis que mantêm o funcionamento do sistema ou que poderão levá-lo a ruptura. As variações dessas relações é que faz emergir as conexões instáveis em meio uma uniformidade e estabilidade aparente. Assim, para a resiliência, os incidentes são valiosos elementos de estudo porque diferentemente dos acidentes, eles fornecem informações sobre a dinâmica da resposta adaptativa, o que pressionou o sistema e o quanto o sistema pode ser pressionado revelando seu limite. Isso permite aperfeiçoar as barreiras de segurança e simultaneamente, ampliar a capacidade e o desempenho do sistema.

Avaliar resiliência exige modelos de classes para capturar processos que contribuíram para o comportamento adaptativo quando aconteceu uma adversidade, revelando de forma estruturada como foi construída a relação de conhecimentos que proporcionou um caminho alternativo no restabelecimento das relações entre os componentes do sistema.

Em muitos sistemas, o que está sustentando operacionalmente a resiliência, na flexibilidade para satisfazer as variabilidades ambientais de forma adequada, é a "profissionalização" dos operadores, neste contexto, à capacidade de utilização de um conhecimento e experiência para construir e manter uma resposta adequada às diferentes demandas do ambiente operacional (algumas vezes imprevisíveis e ocasionais).

Para Erik Hollnagel (2006) o nível e a qualidade do treinamento, juntos com a experiência operacional, determinam o quanto o operador está bem preparado para as várias situações, conseqüentemente o quão variável e flexível o desempenho poderá ser. Para ele, a *performance* variável é necessária se o sistema sociotécnico, composto de homem e máquina, é bem sucedido ao lidar com a complexidade do mundo real.

4. ANÁLISE DAS TAREFAS COGNITIVAS

Devido a essa variabilidade do ambiente e da relação entre elementos heterogêneos que automatizaram processos operacionais e as estruturaram em sistemas cognitivos complexos, tarefas são como as pessoas organizam e estruturam a informação e o conhecimento mediante a variabilidade do sistema objetivando realizar uma tarefa para alcançar objetivos de forma mais eficiente. Muitas vezes esse conhecimento tácito é gerado de forma reativa derivado de um comportamento adaptativo. Portanto, o núcleo das questões está na preocupação em como as pessoas pensam em função da complexidade e das configurações dinâmicas que caracterizam as tarefas do mundo real.

Segundo Crandall et al. (2006), a investigação sobre resiliência focada nos fatores humanos se apóia na combinação de três temas: (a) cognição, incluindo a cognição distribuída em situações exigidas; (b) explicação dos objetivos e metas hierárquicas nas configurações naturais e (c) características das súbitas demandas de recursos e as reações que eles evocam. Através da análise das tarefas cognitivas, podemos compreender o raciocínio humano, identificando o desenvolvimento e a aplicação da lógica na realização de tarefas.

4.1. Modelo de processo cognitivo

Partindo da análise das tarefas cognitivas, a modelagem do processo cognitivo consiste em se passar de uma descrição dos processos cognitivos, feita através da análise das tarefas cognitivas, para uma descrição em uma linguagem formal que permita fazer cálculos ou simulações. Segundo Rasmussen (1987), o comportamento humano em sistemas complexos, recorre ao controle da ação em três níveis de cognição:

Comportamento baseado em conhecimento. Ações controladas com o uso da consciência e raciocínios, onde se lida com a manipulação de símbolos para solução de problemas, o qual envolve a elaboração de estratégias para a ação, baseada em conceitos e conhecimentos adquiridos e modelos mentais;

Comportamento baseado em regras. Ações controladas por um conjunto de procedimentos, a serem adotados de forma consciente, baseados em regras previamente elaboradas sobre experiências anteriores, diante de signos associados às sub-rotinas, comuns aos sistemas;

Comportamento baseado em habilidades. Quando ações adaptativas, controladas de maneira quase que automática em situações rotineiras se tornam repetitivas, proporcionando o desenvolvimento de habilidades sem a necessidade de pensar em seus componentes, gerando um conhecimento tácito, apoiado em captação de sinais do ambiente do sistema.

5. METACOGNIÇÃO E RESPOSTA ADAPTATIVA (ELABORAÇÃO DIRIGIDA)

A chamada metacognição (Seminério, 1985) se constitui no uso reflexivo da cognição, onde através da prática do controle desse processo, somos capazes de estruturar a lógica e assim instituir o nexos recursivo como o caminho reverso ao da construção do conhecimento. Utilizando o próprio conceito para compreender a metacognição, fazemos uma recursão ao nível anterior de significado até a definição de metaprocessos que se configuram na capacidade de controlar de forma arbitrária e generalizada através da metalinguagem, a regra de significação que estrutura um conhecimento. Retroagindo um nível derivativo a mais da palavra, está o significado de metalinguagem que se caracteriza em uma linguagem ou forma própria do aluno descrever as outras linguagens ou sistemas de significação de acordo com seu mecanismo cognitivo. Portanto, a capacidade de controle reflexivo e consciente de uma regra identificada através da descrição da composição dos significados que a compõem caracterizam a metacognição, por isso vista como cerne da capacitação para a resposta adaptativa devido à possibilidade de aplicação a todos os níveis do processo comportamental.

Através do estudo dos passos filogenéticos que constituem a estrutura cognitiva dos seres humanos, podemos compreender a função organizadora da informação captada do ambiente pelos nossos sentidos mais desenvolvidos. Essa função se divide em dois planos, o audiofonético e o visiomotor, onde através dos três primeiros níveis de linguagem, os *inputs* e signos-significantes são

construídos, constituindo o que é definido por Seminério (1985) como quarto nível que compõe a lógica reguladora da estrutura de todos os níveis anteriores de linguagem.

A partir da estrutura da linguagem podemos observar que a organização e captura do conhecimento se dá com o encapsulamento do conteúdo através da forma, onde signos-significantes são construídos a cada nível de linguagem (L1, L2, L3 e L4) formando invariâncias capazes de serem identificadas, controladas e reaplicadas em forma de regras. A linguagem e principalmente a metacognição se estrutura em quatro níveis:

L1 - Linguagem mais elementar e arcaica do processo cognitivo, que utiliza os *inputs* psicofisiológicos da visão e cinestesia geral, bem como da audição e cinestesia da fonação, como signos-significantes para organizar em conjuntos combinatórios seus contextos significativos. Trata-se da capacidade inata da percepção.

L2 - Linguagem que utiliza os *inputs* das estruturas figurais decorrentes da linguagem anterior, como signos-significantes para organizar em conjuntos combinatórios seus contextos mais significativos. Representa a possibilidade associativa de se acoplar a uma estrutura figural presente um sentido experimental, ou seja, associar formas L1 a modos virtuais de ação elementar, bem como às formas de atribuição de significado empírico. Trata-se da capacidade de criar significados a partir da percepção.

L3 - Linguagem que utiliza os *inputs* das figuras estruturais decorrentes da linguagem anterior, como signos-significantes aptos a formar com eles contextos significativos organizados com sentido episódico: em termos imaginíficos no canal visomotor, em termos de frases discursivas no canal audiofonético. Trata-se da capacidade de criar sentido a partir de significados e assim construir o raciocínio.

L4 - Linguagem que utiliza os *inputs* decorrentes de todas as linguagens anteriores notadamente a partir da L3 como signos-significantes, aptos a formar invariâncias captadas como regras controláveis e reversivelmente reaplicáveis às suas fontes. Constitui em si a atividade metaprocessual que permite desenvolver controle consciente sobre qualquer processo cognitivo, incluindo a reflexividade da regra por ele gerada, tornando-se assim, fonte para estruturação de qualquer tipo de lógica. Trata-se da capacidade de controlar de forma consciente significados, sentidos e raciocínio constituindo a lógica.

Através desses níveis de linguagem podemos aplicar a chamada elaboração dirigida, que consiste em fornecer um modelo lógico a ser elaborado pelo aluno, permitindo a ele a modelagem cognitiva através da imitação provocada. Nesse modelo o aluno é treinado à compreensão da existência de regras ou invariantes, em quaisquer situações tornando implícita a capacidade de descobri-las e transferi-las do inconsciente para a consciência. Esse nível de identificação e consciência das regras pré-estabelecidas através da elaboração dirigida e percebidas pelo aluno como sendo derivativas de um conjunto de invariantes só pode ser decodificado através das estruturas de linguagem que fornecem uma via de acesso aos diferentes mecanismos cognitivos com os quais cada aluno é dotado.

Para nivelarmos a capacidade de aprendizagem entre os diferentes níveis de cognição é preciso oferecer ao aluno estruturas de linguagem mais acessíveis ao seu nível cognitivo. Essas estruturas devem ser capazes de proporcionar, a partir do nível mais alto de linguagem em que está codificado o aprendizado, a desconstrução dos signos-significantes estabelecidos em linguagens anteriores. Isso ocorre até que se encontre um nível de invariância ao qual ele possa estabelecer uma correlação de significados, seja entre o nível e estrutura de linguagem identificada com sua capacidade cognitiva, seja entre o nível e estrutura de linguagem de nível mais alto em que se encontra codificado o conhecimento.

Baseado nesse processo de desconstrução de signos-significantes, o chamado salto metacognitivo permite ao aluno identificar a regra que proporciona a correlação entre esses níveis de significados, responsáveis pela estruturação do conhecimento, constituindo a capacidade de elaborar uma explicação para realidade percebida e transformada.

Essa perspectiva hierarquizada no processo cognitivo se traduz, a cada salto de linguagem, na redução fenomenológica de sentido. Quando estruturamos o conhecimento reduzimos o que é captado do ambiente pelos sentidos em informação que em seguida transformamos em significação e que por sua vez, compomos hierarquicamente as mensagens construídas ao longo das linguagens superpostas. Assim, toda a realidade passa a ter uma existência puramente fenomenal no sentido informacional. Esse reducionismo só é percebido quando há uma variação que nos faz retroagir cognitivamente um ou mais níveis de linguagem (L1, L2, L3 e L4), em busca de invariantes pré-fixados em todas as linguagens anteriores, capazes de conectar o novo conhecimento que surge com os significados anteriormente estabelecidos e fundamentados, possibilitando uma reversibilidade reflexiva para a identificação e construção de uma regra, caracterizando o aprendizado.

5.1. Flexibilidade Cognitiva

O processo reflexivo de busca por invariantes que serve para direcionar a observação da estruturação do conhecimento em níveis de linguagem pode ser utilizado para iniciar o processo metacognitivo e direcionar o pensamento crítico através da apresentação e comparação de múltiplos casos. Essa elaboração dirigida estimula a flexibilidade cognitiva e assim a capacidade adaptativa ao colocar o aluno frente à variabilidade do cenário operacional.

De acordo com Spiro (1987) a flexibilidade cognitiva, baseia-se no reagrupamento de conhecimentos existentes de modo a atender necessidades de novas situações e na aquisição e representação do conhecimento em uma forma que permita

seu uso flexível favorecendo a transferência desse saber para novas situações e promovendo assim o conhecimento não de forma linear e apenas como memorização, mas, considerando que o aluno deve desenvolver a sua capacidade cognitiva, sendo habilitado a usar qualquer conhecimento em situações reais diversas, diferentes daquelas em que foi preparado durante sua formação.

A aprendizagem objetivando a flexibilidade cognitiva é baseada na apresentação de estudos de caso, fazendo com que um tema em estudo seja desestruturado, dividido em mini casos e trabalhado segundo alguns conceitos e princípios de um alto teor de complexidade em relação ao assunto em foco. Esses múltiplos casos são usados para fazer com que o aluno possa configurar relações com o tema gerador e ser conduzido dentro destes mini casos, facilitando a compreensão e fazendo com que sejam alternadas as desconstruções e a abordagem de conceitos, sob vários pontos de vista. Para Spiro (1987), esse processo de desconstrução e construção de cada caso, é fundamental para que o estudante seja capaz de aplicar aquele conhecimento em qualquer situação que venha se deparar.

6. IDENTIFICAÇÃO DO ESCOPO

Os conhecimentos básicos necessários para atuar como controlador de tráfego aéreo, são definidos pela Organização de Aviação Civil Internacional (OACI), cabendo aos países-membros o planejamento e definição dos recursos educacionais que são utilizados para apresentar, dentre outros, os seguintes assuntos: (a) normas de tráfego aéreo; (b) equipamentos para controle de tráfego aéreo; (c) conhecimentos gerais (teoria de vôo; reconhecimento e performance de aeronaves); (d) fatores humanos; (e) meteorologia; (f) navegação; e, (g) procedimentos operacionais.

A fim de identificar os conhecimentos que deveriam ser abordados neste trabalho, realizamos entrevistas semi-estruturadas no Instituto de Controle do Espaço Aéreo (ICEA), em setembro de 2007, onde apuramos as dificuldades em se construir cognitivamente um modelo do momento em que os conceitos abstratos de Meteorologia influenciam significativamente nos procedimentos operacionais.

Esta disciplina, Fundamentos de Meteorologia, foi sugerida pela coordenação do curso pela sua importância em evitar potenciais riscos oriundos das condições meteorológicas para a aviação. Além disso, identificamos lacunas no conhecimento prévio da Física e da Matemática (ao nível de Ensino Médio) nos alunos que deveriam ser tratadas. Em particular, os conceitos de *pressão atmosférica*, *atmosfera padrão* e *altimetria* são os que mais necessitam de recursos que apoiem a aprendizagem.

A incorporação de tecnologias como recurso educacional tem sido incentivada pelo poder de distribuição do conhecimento e pela possibilidade de criar ambientes onde a problematização, a atividade reflexiva, a atitude crítica, a capacidade decisória e a autonomia sejam privilegiadas. Dentre elas destacamos os Objetos de Aprendizagem (OA) por permitir ao aluno perceber onde o conteúdo instrucional se aplica em seu contexto real.

De acordo com os níveis de linguagem apresentados nesse estudo, procuramos estruturar a elaboração do OA, através da organização hierárquica da linguagem, adequando à representação dos significados do conhecimento atribuído a cada nível da linguagem, classificando-os em forma e conteúdo. A partir dessa primeira divisão, explicitamos a definição dos conhecimentos que se traduzem em maior quantidade de significados e assim adequamos os conhecimentos mais inclusivos aos níveis de linguagem mais altos e os conhecimentos subordinados nos níveis mais baixos.

A estruturação do conhecimento sobre altimetria parte primeiramente da percepção da temperatura, que se traduz na forma da condição climática a partir da escolha do aeroporto contextualizada no cenário do OA tornando-se significados de acordo com L2. Assim o aluno é estimulado a descobrir qual a relação entre temperatura local e a altitude da aeronave.

O conhecimento sobre pressão atmosférica está relacionado à temperatura através da escala barométrica sendo a escala mais baixa referente à temperatura mais baixa (e vice-versa). Através desta escala, o aluno é orientado a fazer o ajuste do altímetro trabalhando os significados no nível de linguagem L3. Esse ajuste também é feito a partir dos dados numéricos capturados. Nesta etapa, ocorrendo a variabilidade da temperatura e da pressão atmosférica de acordo com a localidade escolhida há a necessidade de ajuste do altímetro, desta forma, o aluno é estimulado a descobrir essa correlação entre as variáveis (Figura 1).

Assim como a modificação do cenário de acordo com as condições climáticas foi usada para representar a temperatura através da forma (L2), o mesmo foi feito usando o altímetro e a aeronave que são elementos gráficos que não estão presentes no operacional dos controladores, mas são fundamentais para a construção dos significados de pressão atmosférica (L3).

Ao final do processo, o aluno poderá identificar a regra que estrutura a correlação entre as variáveis representadas em conteúdo por dados numéricos, traduzidos no OA através da forma de seus significados. Essa desconstrução das diversas traduções de linguagem, as quais o conhecimento é estruturado em códigos e significados, permite ao aluno desenvolver a capacidade adaptativa, a partir desse novo modelo cognitivo trabalhado no OA de acordo com os níveis de linguagem.

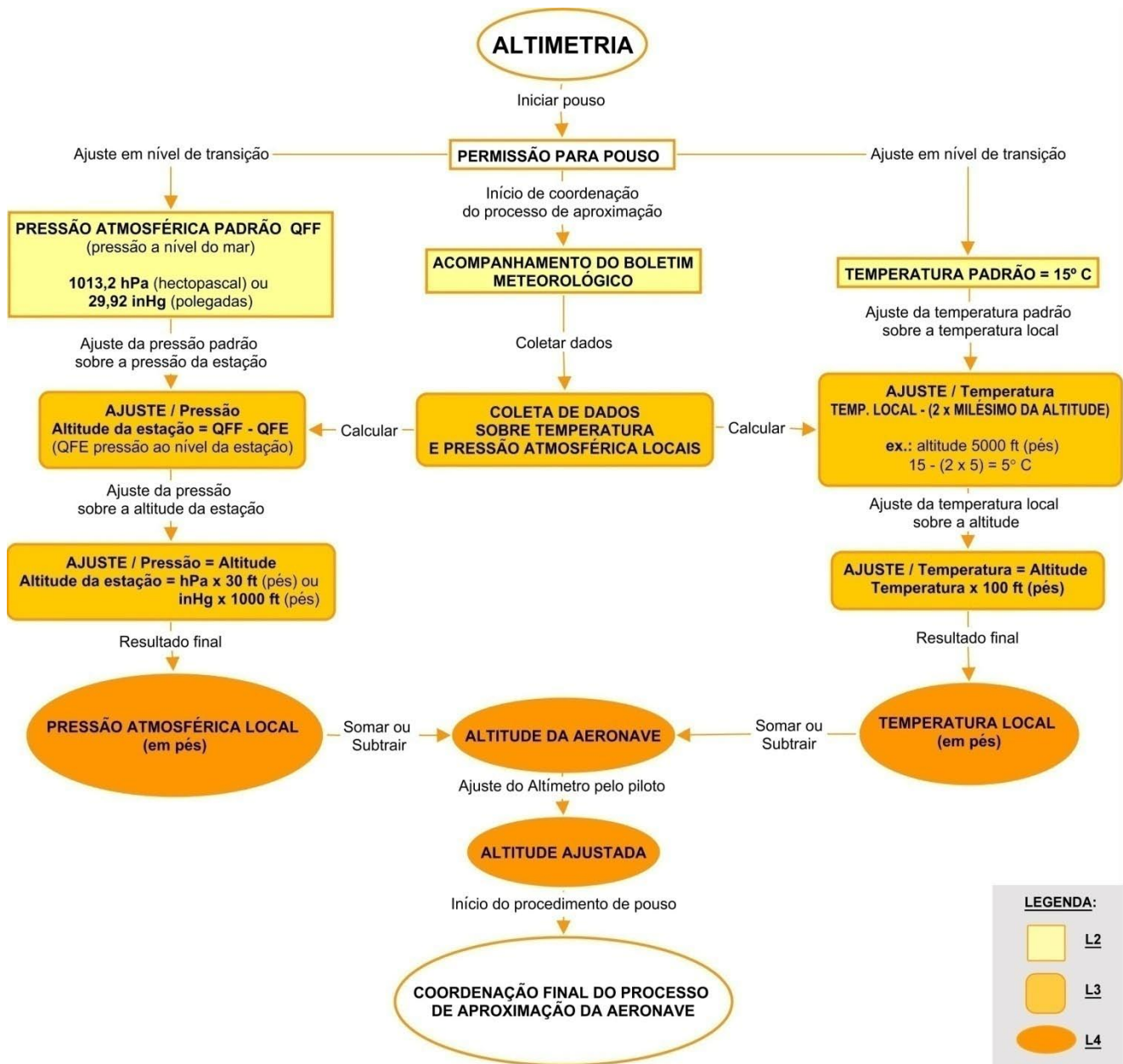


Figura 1 - Mapa conceitual da representação dos conhecimentos envolvidos na altimetria

7. O CLEARANCE

A validação das observações efetuadas aponta para o aperfeiçoamento na formação dos controladores e no desenvolvimento de “sistemas”, onde a adaptabilidade e flexibilidade do seu trabalho sejam vistas como habilidades necessárias para que a organização reaja e se recupere de perturbações ocorridas (Hollnagel et al., 2006). Essas observações caracterizaram a necessidade de desenvolvimento de um modelo instrucional de simulação (Figura 2) a ser usado na construção de um objeto de aprendizagem a fim de estimular o processo metacognitivo.

O modelo baseia-se na relação entre os processo cognitivos e comportamentais identificados por Rasmussen (1994) associado à representação gráfica e interacionista estruturada pedagogicamente através dos níveis de linguagem identificadas por Seminário (1985) como sendo o sistema de código de acesso ao qual o conhecimento está representado e consolidado por elementos invariantes que possibilitam revelar o caminho a percorrer para alcançar o processo metacognitivo. Esse modelo apóia-se ainda na

teoria da flexibilidade cognitiva formulada por Spiro (1987) como forma de estimular e direcionar a aquisição do conhecimento pelo processo reflexivo de descoberta dessas invariantes através da construção e desconstrução de hipóteses formuladas na observação e comparação de múltiplos casos apresentados aos alunos.

Esse modelo consiste primeiramente em fornecer uma simulação dirigida com a apresentação de múltiplos casos da variabilidade do cenário operacional a fim de permitir ao aluno a comparação e possível identificação de pontos invariantes e congruentes entre eles. Nessa etapa é restringida a possibilidade de interação / manipulação à figura principal representativa do módulo do conhecimento em que as estruturas de organização e elementos das linguagens subjacentes interagem. Esse processo levará o aluno a identificar a regra de interação entre os elementos do sistema complexo, estruturada pelas invariâncias observadas com a representação e variação gráfica de níveis mais baixos e acessíveis de linguagem, possibilitando-o ao acessar ao nível mais alto através da interação / manipulação exclusiva desse elemento representativo ao qual o conhecimento está codificado.

Com o pensamento crítico e lógico formados pela combinação entre a necessidade de concluir a tarefa e confirmar a identificação da regra, o aluno pode optar por acessar a segunda etapa onde a simulação é aberta a manipulação direta das variáveis, com a possibilidade de testar as hipóteses por ele formuladas. Essas etapas são repetidas pelo aluno até ele identificar através da associação entre os níveis de linguagem um padrão entre os múltiplos casos apresentados e estabelecer assim a regra de interação entre as variáveis, confirmando o domínio do conhecimento.

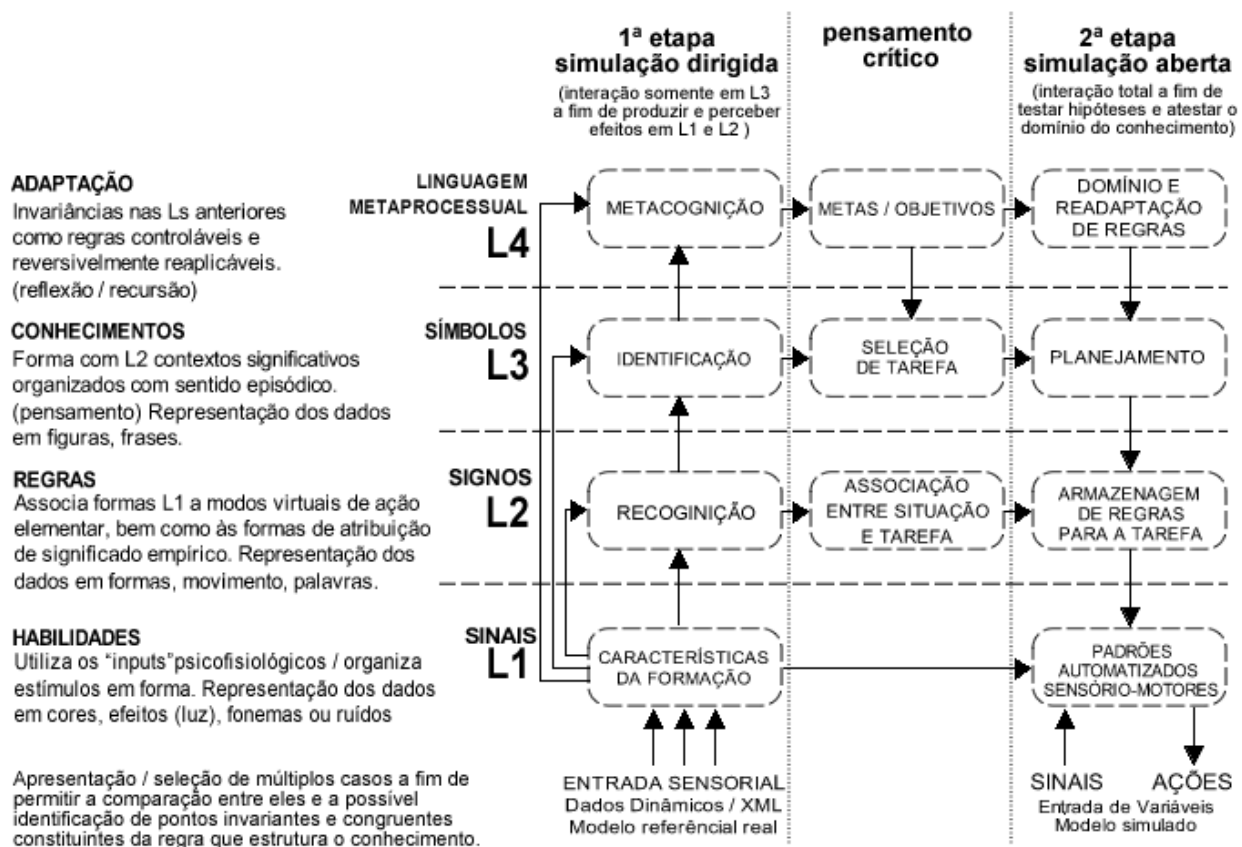


Figura 2 – Modelo instrucional de simulação dirigida usada no ClearaNCE

A possibilidade de relacionar conceitos através dos Objetos de Aprendizagem facilita ao aluno visualizar diferentes pontos de vista, comprovar hipóteses, identificar e assim consolidar as invariâncias contribuintes para a formulação da coerência da recursão com o aprendizado das regras que regem essa relação.

O desenvolvimento e utilização do Objeto de Aprendizado chamado **ClearaNCE** (Figura 3) trabalha os conceitos de altimetria que envolvem variáveis climáticas no ajuste da altitude voada por uma aeronave. Essas variáveis são: temperatura e pressão atmosférica aferidas localmente em cada aeroporto do país. O aplicativo foi desenvolvido em Flash junto com a linguagem de programação Action Script, integrada a busca e captura de dados em linguagem XML diretamente da Rede de Meteorologia do Comando da Aeronáutica (REDMET), dados esses referentes às condições meteorológicas do aeroporto escolhido.



Figura 3 - Objeto de aprendizagem para trabalhar conceitos de altimetria

Esse conjunto de representações e associações tem por objetivo, desenvolver nos alunos a capacidade de criar um modelo mental em que a significação e relação de conceitos abstratos sejam representativas da realidade operacional, tornando a ligação entre o conhecimento formal e a prática cada vez próxima, conforme visto na Figura 3.

8. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO

A metodologia de avaliação da ferramenta consiste em um estudo variacional dos atributos ajustáveis que tenham influência na adaptação do objeto aos déficits cognitivos do aprendiz. O modelo suporta variações do objeto que buscam capitalizar os pontos de força cognitivos no apoio aos pontos de fraqueza. Esta variabilidade reforça ou atenua características do objeto que se relacionam com as funções mentais de atenção, memória, planejamento e percepção. No processo, o aprendiz será submetido a um pré-teste, uma seção com a ferramenta e um pós-teste. A sessão consistirá em uma varredura espectral descritiva ao longo dos eixos disponíveis das variabilidades funcionais. Uma análise correlacional das diferenças entre os testes é aplicada então para avaliar a efetividade da ferramenta na aquisição cognitiva dos aprendizes.

9. CONCLUSÕES

Relatos de incidentes e análise das tarefas cognitivas nos fornecem elementos para reconstruir o modelo mental dos operadores no desenvolvimento de softwares educacionais para o treinamento de respostas adaptativas diante da variabilidade e imprevisibilidade do sistema.

A combinação entre conhecimento formal e conhecimento tácito é uma relação similar ao existente entre conteúdo e forma. O aprendizado construído interativamente sobre a simulação das variabilidades de ambientes e sistemas permite tornar mais segura a relação entre os elementos heterogêneos através da flexibilidade e a capacidade adaptativa.

Os artefatos tecnológicos podem ser vistos como componentes de um sistema circulante de conhecimento encapsulado em linguagens com significados traduzidos e operados por “um indivíduo”. A possibilidade de uma resposta adaptativa mais segura e bem sucedida ocorre quando o operador é capaz de identificar, a partir dos invariantes, a regra que está por trás da construção daquela linguagem que representa várias camadas de conhecimento.

Para desenvolver interação de forma local e provisoriamente competente dentro de seu modelo cognitivo, o controlador deve incorporar estes componentes mediante a análise situacional para equipar-se com os elementos “subjativadores”, correlacionando-os de forma rápida e lógica diante de um imprevisto causado pela variabilidade do ambiente ou do funcionamento do sistema.

Para o desenvolvimento de programas de formação de profissionais que atuam em sistemas complexos, devemos considerar que o aprendiz transforma o significado lógico do material pedagógico em significado psicológico na medida em que esse conteúdo se insere de modo peculiar na sua estrutura cognitiva, onde a metacognição através do nexos recursivo capacita identificar invariâncias, constituindo regras e assim desenvolver o raciocínio lógico necessário ao controle variável e flexível próprios de uma resposta adaptativa bem sucedida.

Neste sentido, se um simples botão é capaz de substituir complexas tarefas cognitivas, cujo conhecimento está armazenado intrinsecamente em sua memória digital, podemos através dessa mesma interatividade acionar o processo cognitivo dos alunos, instigando a curiosidade, levando-o a relacionar os conhecimentos formais que estão por trás de uma determinada ação, utilizando a variabilidade como motivação para a desconstrução e reconstrução da regra.

10. REFERENCES

- Crandall, B., Klein, G. and Hoffman, R., 2006, "Working Minds: A Practitioner's Guide To Cognitive task Analysis", The MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- Hollnagel, E, Pieri, F. and Rigaud, E., 2008, "Proceedings Of The Third Resilience Engineering Symposium", Antibes-Juan-les-Pins, France.
- Icao, 2006, "International Standards and Recommended Practices Personnel Licensing".
- Icea - Comando da Aeronáutica Instituto de Controle do Espaço Aéreo, "Apostila de Treinamento dos Controladores de Vôo".
- Perrow, C., 1999, Normal accidents: living with high-risk technologies, New Jersey Princeton University Press.
- Rasmussen, J., 1987, Cognitive Control and human error mechanisms, Em: Rasmussen, J., Duncan, K. e Leplat, J. *New technology and human error*, New York: John Wiley & Sons.
- Seminário, F. Lo Presti, 1985, Infra-estrutura da Cognição II. Linguagens e Canais Morfogenéticos, Cadernos do ISOP, Volume 8, Instituto Superior de Estudos e Pesquisas Psicossociais, Editora da Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro.
- Spiro, R. Vispoel, W., Sachimitz, J., Samarapungavan, A., Boerger, A., 1987, Knowledge Acquisition for Application: Cognitive Flexibility and Transfer in Complex Content Domains, In: Britton, B.C.; Glynn, S.M. (org.) *Executive Control in Processes in Reading*, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Woods, D., Hollnagel, E. and Leveson, N., 2006, "Resilience Engineering: Concepts And Precepts", Aldershot, UK: Ashgate.

11. RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the material included in this paper.