

## Modelo para classificação do esforço cognitivo de atividades humanas em um sistema sensível ao contexto

Bruno Romero de Azevedo<sup>1</sup>, Alfredo Del Fabro Neto<sup>1</sup>, Rafael Boufleuer<sup>1</sup>,  
João Carlos D. Lima<sup>2</sup>, Iara Augustin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Informática

<sup>2</sup>Departamento de Linguagens e Sistemas Computacionais

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)  
97105-900 – Santa Maria – RS – Brasil

{brunodea, caio, august}@inf.ufsm.br

{alfredodfn, rafaboufler}@redes.ufsm.br

**Abstract.** *It is not possible to calculate the cognitive workload spent by a person during the execution of an activity. Therefore, we notice the need to evaluate the level of his/her performance in order to be possible to infer the cognitive workload used. In a context-aware system, it is possible to capture informations that allow the inference of properties for the evaluation of a performance. So, we propose the creation of a model to classify the cognitive workload based in the behavioral model skill-rule-knowledge and the relations of the performance properties with the context in which the person is inserted into.*

**Resumo.** *O esforço cognitivo despedido por uma pessoa durante a realização de uma atividade não é possível de ser calculado de forma direta. Assim, percebe-se a necessidade de avaliar o nível de desempenho da atividade para que seja possível a inferência do esforço cognitivo utilizado. Em um sistema sensível ao contexto, é possível a captura de informações que permitam a inferência de propriedades para a avaliação de um desempenho. Assim, propõe-se a criação de um modelo de classificação do esforço cognitivo baseado no modelo comportamental habilidade-regra-conhecimento e nas relações de propriedades de desempenho com o contexto em que a pessoa está inserida.*

### 1. Introdução

Atividades humanas estão relacionadas à possibilidade da ocorrência de danos físicos a quem está executando-as, sejam eles provenientes de situações arriscadas (e.g., caminhar de olhos fechados), variações no ambiente (e.g., caminhar em um piso escorregadio devido à umidade), desempenho do indivíduo ao exercer uma tarefa (e.g., idoso com dificuldades físicas caminhando), dentre outros fatores. Para que um sistema possa avaliar estes tipos de situações é necessário que ele conheça o contexto em que o usuário está inserido. Geralmente, isso se traduz em obter informações do ambiente e do usuário através de dados captados por sensores. De posse destas informações, o sistema pode realizar análises para a inferência do grau de risco associado a uma atividade em tempo real.

Sistemas assim são conhecidos como sistemas sensíveis ao contexto. Contexto é definido como “qualquer informação que pode ser utilizada para caracterizar a situação de uma entidade. Uma entidade é uma pessoa, um objeto ou lugar que é considerado relevante para a interação entre um usuário e uma aplicação, incluindo o próprio usuário e aplicação” [Abowd et al. 1999]. Uma vez que o risco em atividades pode ser associado ao estado do ambiente e ao desempenho do usuário, percebe-se que um sistema que se proponha e inferir o grau de risco de atividades necessita ser sensível ao contexto.

Assim, Del Fabro Neto et al. (2013) desenvolveram um *framework* sensível ao contexto (figura 1) para a avaliação do risco de atividades levando em conta, principalmente, o estado do ambiente através de sensores espalhados por ele e, em especial para este artigo, o desempenho do indivíduo ao realizar atividades.

O *framework* possui uma camada responsável por avaliar o nível do esforço cognitivo utilizado pelo usuário ao realizar cada atividade (*SRK Classifier*), i.e., analisar o desempenho do usuário ao realizar suas atividades ao longo do tempo. O nível do esforço cognitivo é determinado com base no modelo comportamental *habilidade, regra e conhecimento* (SRK, em inglês) criado por Rasmussen (1983). Assim, ao utilizar as informações produzidas pelo *SRK Classifier* e *Activity Manager*, o qual verifica atividades relacionadas ao ambiente e não apenas as relacionadas ao usuário, o *framework* realiza a inferência do risco das atividades (camada *Risk Analyzer*).

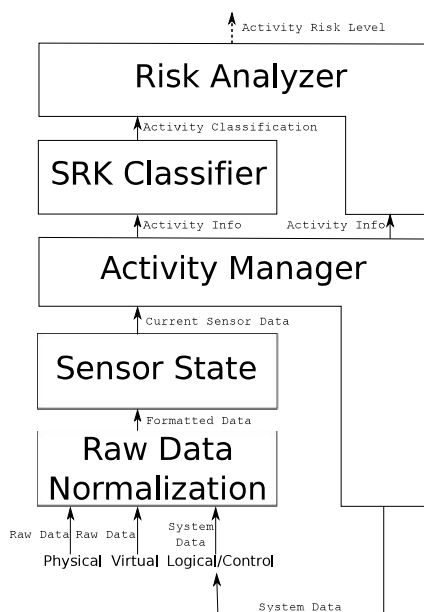
Pelo fato de não ser possível determinar de maneira direta o esforço cognitivo utilizado por uma pessoa [Rantanen and Levinthal 2005], evidencia-se a necessidade de que a camada *SRK Classifier* faça a análise dos desempenhos a partir de parâmetros específicos (como atenção, carga de trabalho mental, acurácia, tempo, etc.) que, ao serem relacionados, permitam a inferência do esforço cognitivo despendido para, então, relacionar os resultados ao modelo SRK. A partir disso, é proposto um modelo conceitual responsável por agregar tais peculiaridades que considera não apenas parâmetros específicos às pessoas, mas também informações do ambiente de forma a permitir a inferência de relações entre o ambiente e as propriedades de desempenho.

O artigo está estruturado da seguinte forma: a seção 2 apresenta uma revisão bibliográfica relacionada ao modelo SRK e trabalhos que elencam propriedades de desempenho; a seção 3 apresenta trabalhos recentes que utilizam o modelo SRK; a seção 4 apresenta o modelo proposto e; a seção 5 apresenta as considerações finais e trabalhos futuros.

## 2. Revisão Bibliográfica

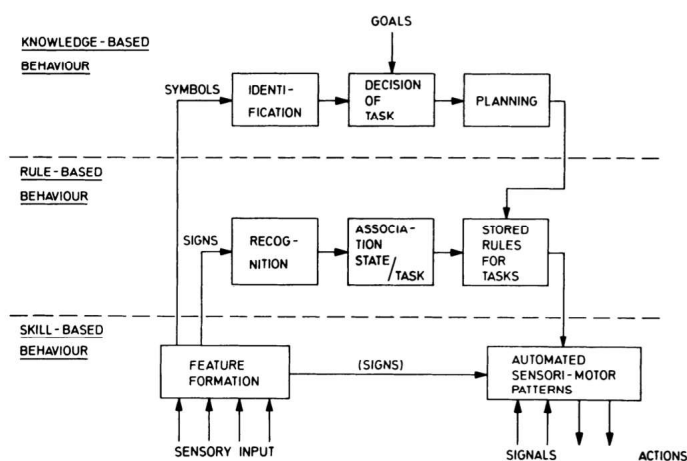
### 2.1. Modelo SRK

O modelo comportamental SRK é dividido em três níveis (figura 2): comportamento baseado em habilidade (CBH), comportamento baseado em regra (CBR) e comportamento baseado em conhecimento (CBC). Assim, o modo com o qual as informações são percebidas está dividido em *sinais*, *signos* e *símbolos* e a maneira com a qual elas são interpretadas é que determina o nível cognitivo utilizado. *Sinais* estão relacionados a sinais espaço-temporais (o que implica à pessoa a realização de ações físicas em que está habituada a fazer), *signos* são percebidos quando a informação é utilizada para modificar ações pré-determinadas (i.e. situações em que a atividade deve ser realizada



**Figura 1. Framework para classificação do risco de atividades [Del Fabro Neto et al. 2013].**

por convenção ou conhecimento prévio pela pessoa) e *símbolos* são informações utilizadas para prever ou explicar situações pouco familiares [Rasmussen 1983]. Com isso, observa-se que CBH e CBR estão melhor relacionados a comportamentos de percepção e ação da pessoa e CBC é melhor relacionado ao raciocínio analítico e análise da situação [Vicente and Rasmussen 1992]. Dessa forma, CBH e CBR exigem menos esforço cognitivo que CBC.



**Figura 2. Modelo comportamental SRK [Rasmussen 1983].**

Por si só, a forma com qual as informações são percebidas (*sinais, signos e símbolos*) não determinam diretamente o nível de controle cognitivo que será ativado [Vicente and Rasmussen 1992]. Assim, para que o esforço cognitivo (CBH, CBR e CBC) utilizado por uma pessoa para a realização de uma atividade seja corretamente identificado é necessário levar em consideração propriedades relacionadas ao desempenho de tal atividade.

## 2.2. Propriedades de Desempenho

Este artigo tem sua fundamentação teórica em Rantanen e Levinthal (2005) que afirmam que “frequentemente há uma relação negativa entre carga de trabalho mental e desempenho”, carga de trabalho mental utilizada por eles no sentido de esforço cognitivo. Assim, quanto maior o esforço cognitivo para a realização de uma atividade, pior será o seu desempenho. Este princípio pode ser verificado ao perceber que pessoas que são *experts* na realização de determinadas atividades tendem a utilizar atalhos cognitivos confiáveis e eficientes, o que significa uma redução na carga cognitiva sem a perda da profundidade do processamento [Loveday et al. 2013].

Assim, as propriedades que podem ser utilizadas para o mensuramento de um desempenho são:

- *Atenção*: A carga de atenção sobre uma pessoa pode refletir diretamente o nível do desempenho na realização de uma atividade. Isto se percebe em tarefas que envolvem habilidades sensoriais e motoras, de forma que novatos tendem a controlar conscientemente cada etapa na execução de uma habilidade e *experts* não necessitam da assistência da atenção para executar procedimentos de controle rápidos e eficientes [Gray 2004]. Além disso, atenção pode refletir diretamente a possibilidade de que algum tipo de erro ocorra durante a realização de uma tarefa. Por exemplo, quando operadores precisam realizar múltiplas tarefas, como manipulação de controles e monitoramento, é necessário que sua atenção seja alocada de forma eficaz e eficiente mesmo sob a pressão do tempo, como é o caso de operadores de brinquedos em parques de diversão [Woodcock 2014]. Relacinada à atenção, a ansiedade é um fator que já foi comprovado como prejudicial ao desempenho de uma tarefa, especialmente em tarefas complexas e que demandam atenção [Derakshan and Eysenck 2009].
- *Efetividade e Eficiência*: Além da efetividade na realização de uma tarefa (geralmente relacionada à acurácia de seu resultado [Eysenck et al. 2007]), deve-se levar em consideração a eficiência do comportamento para a avaliação de um desempenho [Robert and Hockey 1997]. A eficiência na execução de uma tarefa diminui conforme o esforço cognitivo despendido se eleva para que a tarefa seja realizada de forma efetiva [Eysenck et al. 2007].
- *Carga de trabalho mental*: O desempenho de uma tarefa varia de acordo com a carga de trabalho mental utilizada para a sua realização (quanto maior as demandas da tarefa, maior a carga mental necessária). Porém, as pessoas tem uma capacidade limitada de carga mental que podem despender a uma tarefa. Se esta tarefa exceder tal capacidade, as pessoas tendem a diminuir seus critérios de desempenho para que a carga mental também reduza [Cook and Salvendy 1999]. Este esforço mental pode decorrer de diversos fatores como pressão do tempo, incerteza de como proceder, qualidade dos dados da tarefa, demandas conflitantes, dentre outros fatores [Cook and Salvendy 1999]. Um ponto interessante é quando se considera o esforço cognitivo para o desenvolvimento de interfaces humano-computador, onde é indicado que se utilize estruturas que explicitam níveis cognitivos com processamento mais eficiente (CBH e CBR), isto é, que exijam menor esforço cognitivo ao mesmo tempo em que preservem a aplicabilidade quando o nível de esforço cognitivo for maior (CBC) [Vicente and Rasmussen 1992]. Po-

rém, o desempenho de atividades pode ser afetado negativamente mesmo quando a carga mental utilizada for pequena, devido ao tédio [Lin et al. 2014].

- *Tempo*: A carga de uma tarefa pode ser definida como a relação entre o tempo disponível e o tempo utilizado para a sua realização. Assim, conforme a carga de uma tarefa aumenta, o desempenho da pessoa é reduzido. Isto é, as pessoas mudam de modo pró-ativo para reativo conforme esta carga for aumentando, de modo que o comportamento pró-ativo resulta em um bom desempenho e o reativo em um desempenho ruim [Rantanen and Levinthal 2005]. Porém, nem sempre é possível determinar o tempo disponível para a execução de uma tarefa. Assim, pode-se alterar a equação para cálculo da carga de uma tarefa para comportar este problema, utilizando, por exemplo, um tempo necessário estimado ao invés do tempo disponível (como é o caso no trabalho de Lin et al. (2014)).

Além dos fatores já mencionados, a avaliação do desempenho de uma atividade pode estar relacionada, também, à habilidade e experiência do executor [Vicente and Rasmussen 1992]; à complexidade, demanda e quantidade de tarefas e sub-tarefas sendo executadas (quanto mais tarefas, menor o tempo de resposta da pessoa e, conseqüentemente, pior o seu desempenho) [Ujita et al. 1995] e; descuidos, enganos e erros que possam ocorrer durante a execução da atividade (relacionados à efetividade/acurácia). Além disso, dependendo do problema ocorrido (descuido, engano ou erro), pode-se determinar de forma relativamente direta o nível do esforço cognitivo (SRK) presente no momento da execução da atividade, como no trabalho de Woodcock (2014).

Com isso, o mensuramento do desempenho de uma atividade é importante para que se possa realizar a inferência do esforço cognitivo despendido durante sua execução, uma vez que não é possível calculá-lo de forma direta [Rantanen and Levinthal 2005]. Dessa forma, evidencia-se em trabalhos que utilizam o modelo SRK uma tendência a utilizar fatores de mensuramento de desempenho humano, como os já mencionados, para a classificação do nível de esforço cognitivo (CBH, CBR ou CBC) de seus usuários/operadores durante a execução de tarefas específicas dentro de seus sistemas (e.g. [Lin et al. 2014], [Woodcock 2014], [Skalle et al. 2014]).

### 3. Trabalhos Relacionados

Com o objetivo de compreender o comportamento de operários com diferentes responsabilidades em uma sala avançada de controle, o trabalho de Lin et al. (2014) realiza a classificação das tarefas de cada trabalhador a partir do esforço cognitivo empenhado baseando-se no modelo SRK e analisando propriedades como *tempo*, *frequência* e *carga de trabalho mental*.

No caso de controles de brinquedos de parques de diversão, a análise do comportamento dos operários dos brinquedos foi utilizada no trabalho de Woodcock (2014) para determinar diretrizes de design da interface de controle dos brinquedos com uma abordagem a fim de prevenir erros. Sendo estes categorizados de acordo com o esforço cognitivo exigido por cada tarefa. O levantamento destes esforços cognitivos foi feito de acordo com propriedades como *pressão do tempo* e *foco da atenção* do operário.

No trabalho de Skalle et al. (2014), o modelo SRK também é utilizado para classificação de falhas humanas, porém as propriedades utilizadas estão relacionadas a *enga-*

*nos, erros de classificação e falta de experiência.*

A tabela 1 faz uma comparação entre os trabalhos. Pode-se perceber que nos trabalhos citados, porém não restrito a eles (e.g. [Stahl et al. 2013]), a relação de determinadas tarefas com os níveis de esforço cognitivo dentro do modelo SRK é feita de forma manual, onde os pesquisadores observam o modo como os objetos de estudo se comportam e avaliam como foi o seu desempenho. Impedindo, assim, que determinadas tarefas mudem de nível o seu esforço cognitivo exigido, dentro do modelo SRK, conforme a pessoa for melhorando ou piorando seu desempenho ao realizá-las, ao contrário do que acontece no modelo proposto por este artigo. Outras propriedades de desempenho utilizadas pelos trabalhos citados referem-se à tempo, frequência, falta de experiência, dentre outros. O modelo proposto neste artigo aceita qualquer tipo de propriedade de desempenho possível de ser inferida por um sistema sensível ao contexto.

Durante a realização da pesquisa bibliográfica não foram encontrados outros trabalhos que avaliam o desempenho de atividades humanas em tempo real por um sistema sensível ao contexto. Então, considera-se esta proposta inédita ao fazer uso de um framework de esforço cognitivo à área de contextos computacionais.

**Tabela 1. TABELA COMPARATIVA**

Trabalho	Propriedades de Desempenho			Utilização do SRK	Tempo Real
	At./Ans.	Err./Ef.	C. Trab. Mental		
Lin et al. (2014)	Não	Não	Sim	Classificação fixa de tarefas	Não
Woodcock (2014)	Sim	Não	Não	Interface para prevenção de erros	Não
Skalle et al. (2014)	Não	Sim	Não	Determinar causas de falhas	Não
Trabalho Proposto	Sim	Sim	Sim	Avaliação do desempenho de atividades	Sim

At./Ans.: Atenção/Ansiedade;

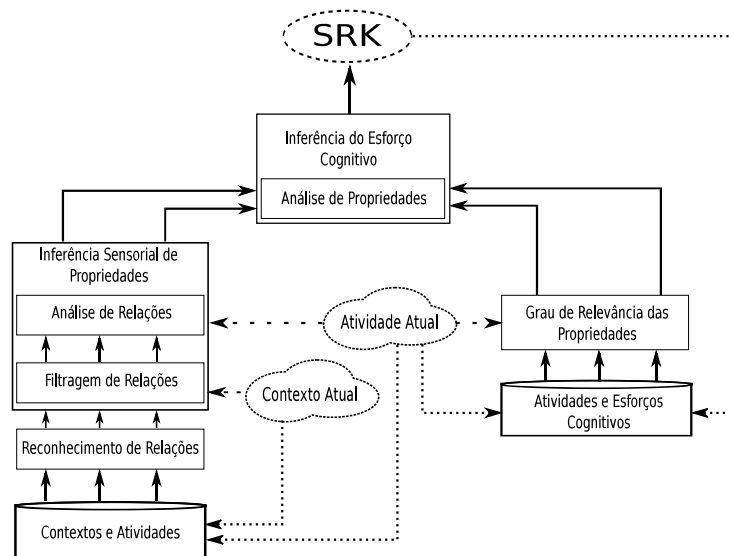
Err./Ef.: Erros/Eficiência;

C. Trab. Mental: Carga de Trabalho Mental

#### 4. Modelo conceitual

Baseando-se nos conceitos descritos nas seções anteriores, o modelo da figura 3 é proposto. Seu objetivo principal é a inferência do esforço cognitivo despendido durante a realização de uma atividade. Isso é feito a partir da análise de propriedades de desempenho, como as descritas na seção 2.2. A maneira com a qual tais propriedades são capturadas pelo sistema foge ao escopo deste artigo. Porém, encontram-se na academia trabalhos atuais com propostas de sensores e técnicas relacionados à captura de propriedades de desempenho ou que possibilitem sua inferência (e.g. [Datta et al. 2014]).

Nas partes inferiores do modelo estão presente os componentes *Contextos e Atividades e Atividades e Esforços Cognitivos*. Eles são responsáveis por armazenar o histórico de atividades, suas propriedades de desempenho e o contexto em que elas ocorreram e, também, o esforço cognitivo inferido pelo componente *Inferência do Esforço Cognitivo*.



**Figura 3. Modelo conceitual proposto.**

O *Reconhecimento de Relações* realiza a identificação das relações de todas as atividades com todos os contextos já identificados. Como o sistema deve funcionar em tempo real, é necessário filtrar tais relações (*Filtragem de Relações*) baseando-se na atividade e contexto atuais para que o sistema escolha as relações mais relevantes (e.g. através de técnicas de mineração de dados) quando for realizar suas análises para a inferência de como as informações de contexto foram percebidas (*Análise de Relações*). Tais análises devem envolver a combinação de relações que utilizam as mesmas propriedades e contextos.

A *Inferência sensorial de propriedades* deve descobrir relações entre as propriedades de desempenho da atividade atual e do contexto a partir de experiências passadas (via log do sistema). Como mencionado na seção 2.1, as informações podem ser percebidas como *sinais*, *signos* ou *símbolos*, assim, deve-se utilizar contexto nas relações, pois “a distinção entre a percepção da informação como sinal/signo/símbolo é geralmente não-dependente na forma a qual ela é apresentada, mas sim no contexto o qual ela é percebida” [Rasmussen 1983]. Assim, é repassado pelo componente *Inferência Sensorial de Propriedades* qual o sensoriamento inferido para cada propriedade de desempenho relacionada a cada elemento do contexto atual (ou o contexto como um todo) ao componente seguinte (*Análise de Propriedades*).

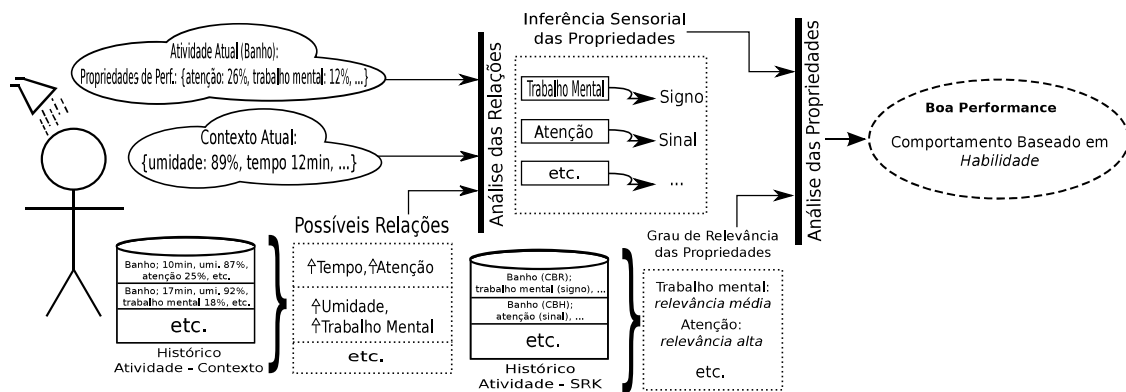
É possível que nem todas as propriedades de desempenho que o sistema utiliza tenham relevância significativa para determinada atividade. Por exemplo, dependendo do usuário, a atividade de escovar os dentes pode não ser influenciada pela propriedade de desempenho “ansiedade”. Com isso, faz-se necessária uma avaliação do grau de relevância de cada propriedade de desempenho para cada atividade. O componente responsável por isso, *Grau de Relevância das Propriedades*, não leva em consideração os contextos em que as atividades e suas propriedades de desempenho foram obtidas, mas apenas as variações nos valores das propriedades e o resultado do esforço cognitivo final da atividade.

A partir do grau de relevância de cada propriedade, os dados sensoriais obtidos

pelo componente de *Inferência Sensorial de Propriedades* são recalculados de forma a enfatizar as propriedades mais relevantes. Dessa forma, o componente *Análise de Propriedades* é capaz de avaliar quais propriedades são mais significativas e, assim, dar maior importância às percepções “identificadas” através delas. Para, então, analisar o desempenho do usuário e, por fim, inferir o esforço cognitivo exigido pela atividade atual.

#### 4.1. Funcionamento do modelo conceitual em cenário específico

A figura 4 apresenta o funcionamento do modelo da figura 3 em um cenário relacionado à atividade “banho”.



**Figura 4. Exemplo de funcionamento do modelo proposto para uma atividade de “banho”.**

A partir do histórico de *Contextos e Atividades*, composto por informações de contexto (e.g. nível de umidade) e atividades e suas propriedades de desempenho, o componente *Reconhecimento de Relações* do modelo é o responsável por analisar este histórico e averiguar possíveis relações entre as propriedades de desempenho e as informações de contexto. Tais relações representam a forma como o contexto influencia determinada propriedade de desempenho. Na figura 4 isto é apresentado ao mostrar as relações de *tempo* e *atenção* (quanto maior a duração da atividade “banho”, mais atenção é utilizada), bem como de *umidade* e *trabalho mental* (quanto maior a umidade durante o banho, maior o trabalho mental exigido).

Assim, após feita uma filtragem das relações mais relevantes de acordo com a atividade e contextos atuais (i.e. relações em que a atividade de banho está presente e acontece em um contexto semelhante, como a mesma localização), o modelo realiza a análise das informações de atividade e contexto atual com base no conhecimento adquirido das relações atividade-contexto. Isto é, se a atenção atual do usuário estiver elevada, assim como o tempo de duração do banho, a análise apontaria para uma percepção do tipo *sinal* para esta propriedade de desempenho por estar de acordo com as relações existentes. Ao contrário, quando uma propriedade de desempenho não está de acordo com as relações, a percepção sensorial inferida tende a representar um nível maior de cognição (*signo* ou *símbolo*). A análise de relações realiza a inferência sensorial de todas as propriedades de desempenho para a atividade e contexto atual, as quais são analisadas de acordo com seu grau de relevância no componente de análise de propriedades.

O histórico de *Atividades e Esforços Cognitivos* é averiguado de forma a inferir o grau de relevância de propriedades de desempenho para uma atividade. No exemplo da



figura 4, verifica-se que a propriedade de desempenho *atenção* teve percepção sensorial do tipo *senal* em um momento o qual a atividade *banho* teve um esforço cognitivo inferido como CBH. Ao verificar que a *atenção*, após análise de todo o histórico, influi de forma significativa o resultado final da inferência do esforço cognitivo, determina-se que ela é uma propriedade com *alta relevância*, por tanto deve ter maior influência na etapa de análise de propriedades.

A análise de propriedades verifica como foram as percepções inferidas pelas propriedades de desempenho e, levando em consideração o grau de relevância de cada uma, realiza o cálculo da inferência do esforço cognitivo. Na figura 4 percebe-se que a inferência resultou em CBH, isto porquê as propriedades de desempenho mais relevantes tiveram uma inferência de percepção sensorial com níveis não-altos (i.e. *senal* ou *signo*). Ou seja, de forma geral, seguiram-se os padrões presentes nas relações encontradas nos históricos.

## 5. Conclusão e trabalhos futuros

Este artigo propõe a elaboração de um modelo para a classificação do esforço cognitivo despendido por uma pessoa durante a realização de uma atividade em um sistema sensível ao contexto. Percebe-se a relevância da utilização de propriedades de desempenho para a inferência do esforço cognitivo através do reconhecimento de relações com diferentes contextos, devido ao fato de permitir que o modelo se adapte às mudanças de comportamento do usuário. Uma vez que, assim como o grau de relevância das propriedades, o modelo identifica as relações baseando-se em eventos passados e estes bancos de eventos são retro-alimentados a medida que novas atividades são detectadas e seus esforços cognitivos são inferidos, nota-se que, dado o devido tempo, novas relações podem surgir e outras podem enfraquecer. Tornando, assim, visível a capacidade do modelo em se adaptar às mudanças de comportamento do usuário. Isto é, o modelo é capaz de perceber as mudanças nos esforços cognitivos atribuídos ao usuário ao realizar suas atividades. Permitindo, então, que a inferência final de esforço cognitivo possa variar entre os três níveis do modelo SRK.

Como trabalhos futuros pretende-se implementar o modelo proposto a partir de algoritmos para reconhecimento de relações e análise de informações. Além disso, pretende-se pesquisar maneiras de gerar valores relevantes de propriedades de desempenho para incluir tais informações em datasets públicos a fim de possibilitar que o sistema seja testado.

## Referências

- Abowd, G. D., Dey, A. K., Brown, P. J., Davies, N., Smith, M., and Steggle, P. (1999). Towards a better understanding of context and context-awareness. In *Handheld and ubiquitous computing*, pages 304–307. Springer.
- Cook, J. R. and Salvendy, G. (1999). Job enrichment and mental workload in computer-based work: Implications for adaptive job design. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 24(1):13–23.
- Datta, S., Banerjee, A., Konar, A., and Tibarewala, D. (2014). Electrooculogram based cognitive context recognition. In *Electronics, Communication and Instrumentation (ICECI), 2014 International Conference on*, pages 1–4. IEEE.

- Del Fabro Neto, A., Boufleuer, R., Romero de Azevedo, B., Augustin, I., D. Lima, J. C., and C Rocha, C. (2013). Towards a middleware to infer the risk level of an activity in context-aware environments using the srk model. In *UBICOMM 2013, The Seventh International Conference on Mobile Ubiquitous Computing, Systems, Services and Technologies*, pages 38–42.
- Derakshan, N. and Eysenck, M. W. (2009). Anxiety, processing efficiency, and cognitive performance. *European Psychologist*, 14(2):168–176.
- Eysenck, M. W., Derakshan, N., Santos, R., and Calvo, M. G. (2007). Anxiety and cognitive performance: attentional control theory. *Emotion*, 7(2):336.
- Gray, R. (2004). Attending to the execution of a complex sensorimotor skill: expertise differences, choking, and slumps. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 10(1):42.
- Lin, C. J., Shiang, W.-J., Chuang, C.-Y., and Liou, J.-L. (2014). Applying the skill-rule-knowledge framework to understanding operators' behaviors and workload in advanced main control rooms. *Nuclear Engineering and Design*, 270:176–184.
- Loveday, T., Wiggins, M., Festa, M., Schell, D., and Twigg, D. (2013). Pattern recognition as an indicator of diagnostic expertise. In *Pattern Recognition-Applications and Methods*, pages 1–11. Springer.
- Rantanen, E. M. and Levinthal, B. R. (2005). Time-based modeling of human performance. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, volume 49, pages 1200–1204. SAGE Publications.
- Rasmussen, J. (1983). Skills, rules, and knowledge; signals, signs, and symbols, and other distinctions in human performance models. *Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on*, (3):257–266.
- Robert, G. and Hockey, J. (1997). Compensatory control in the regulation of human performance under stress and high workload: A cognitive-energetical framework. *Biological psychology*, 45(1):73–93.
- Skalle, P., Aamodt, A., and Laumann, K. (2014). Integrating human related errors with technical errors to determine causes behind offshore accidents. *Safety Science*, 63:179–190.
- Stahl, P., Donmez, B., and Jamieson, G. A. (2013). Anticipatory driving competence: motivation, definition & modeling. In *Proceedings of the 5th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications*, pages 286–291. ACM.
- Ujita, H., Kawano, R., and Yoshimura, S. (1995). An approach for evaluating expert performance in emergency situations. *Reliability Engineering & System Safety*, 47(3):163–173.
- Vicente, K. J. and Rasmussen, J. (1992). Ecological interface design: Theoretical foundations. *Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on*, 22(4):589–606.
- Woodcock, K. (2014). Human factors and use of amusement ride control interfaces. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 44(1):99–106.