

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO

**Avaliação do Desempenho de Operadores no
Treinamento da Operação de Sistemas Elétricos em
Ambientes Simulados**

Tese submetida à Coordenação dos Cursos
de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da
Universidade Federal de Campina Grande como
parte dos requisitos necessários para obtenção do
grau de Doutor em Ciências no domínio da
Engenharia Elétrica

Ademar Virgolino da Silva Netto

Prof.^a Maria de Fátima Queiroz Vieira, PhD.

Orientadora

Área de Concentração: Engenharia da Computação

Agradecimento

Primeiramente agradeço a Deus, por me abençoar durante todo o caminho, agradeço aos meus pais e irmãs por me apoiar e dar força em todas as decisões, por me ouvir e me aconselhar sempre que precisei; agradeço a agora esposa (que até a defesa era noiva) por estar sempre ao meu lado me dando toda força e auxiliando em tudo que precisava, seja ouvindo as reclamações, seja dando incentivo para continuar

Um agradecimento especial ao pessoal do LIHM, pelos momentos do cafezinho, por dividir as angústias e as ideias, compartilhar as alegrias e por todo auxílio durante o trabalho. Agradeço também ao meu amigo irmão José Mauricio que nos conhecemos no início da graduação e até tivemos oportunidade de fazer doutorado sanduiche na mesma instituição, fazendo companhia durante toda estadia fora do país. Em especial, *thank you very much all my glaswegian friends*. A todos os amigos, que para não cometer injustiça não irei nomeá-los, mas que sabem que estavam ao meu lado e me deram forças durante todo o processo e ao pessoal do IFPE campus Afogados da Ingazeira pelo apoio e compreensão na reta final do doutorado.

Por fim, agradeço ao programa de pós-graduação por todo o suporte, a CAPES e o CNPq pelo auxílio financeiro em forma de bolsa para fazer o trabalho e para o doutorado sanduiche. Agradeço a minha orientadora que me proporcionou vários ensinamentos desde a graduação, a ser mestre e a pesquisar para ser doutor, além de todos os conselhos e ensinamentos para ser uma pessoa melhor.

Resumo

A observação, registro e análise do desempenho do operador, tem sido o método adotado na avaliação de treinamentos, apoiando a proposição de mudanças de métodos, técnicas e conteúdo a serem trabalhados nos treinamentos. Esta tese teve como objetivo pesquisar a possibilidade de analisar automaticamente sessões de treinamento que tenham sido realizadas em ambientes simulados, de modo a tornar o processo mais simples e rápido do que aquele adotado atualmente. A avaliação da eficácia do treinamento foi investigada a partir do impacto do treinamento na competência do treinando segundo normas do setor e, na identificação dos pontos fracos remanescentes. Nesta tese foi também avaliada a relação entre o estado de fadiga do operador e os resultados alcançados durante uma sessão de treinamento, de modo a considerar, na análise do desempenho, o seu efeito sobre os resultados alcançados. Neste documento é apresentado o método proposto para a avaliação e uma ferramenta para suporte na análise dos resultados do treinamento. O conjunto: método e ferramenta foi validado a partir da análise de dados obtidos em treinamentos realizados com dois simuladores: o SIMULOP empregado no setor elétrico nacional e o SimuLIHM desenvolvido na UFCG.

Palavras-chaves: Desempenho de operadores em treinamento, Ferramenta de suporte à avaliação, Simuladores para treinamento de operadores; Sistemas elétricos.

Abstract

The observation, recording and analysis of operator performance, has been the method widely adopted for evaluating training results. Supporting the proposal of changes in: methods, techniques and the focus of training sessions. This research consisted in investigating the possibility of automating this performance analysis, when the training has been conducted in simulated environments; aiming to simplify the analysis and to achieve quicker results. In this research work, the evaluation of training effectiveness was investigated through the analysis of its impact on the operator competence level measured according to the industry's standards. This assessment enables to identify acquired knowledge and skills and remaining weaknesses, which must be addressed in subsequent training sessions. This work also evaluated the relationship between the operator's state of fatigue during a training session, in order to consider this information during the performance analysis. This thesis proposes a method and a supporting tool to be used during the operator training effectiveness analysis. Both the method and the tool have been validated through experiments conducted with two simulators: SIMULOP an Operator Training System employed by the Brazilian Power System Companies and . Some sessions were conducted at an electricity company using the simulator-; and SimuLIHM, a simulator developed at UFCG for the same purposes.

Keywords: Operator performance during training; Evaluation supporting tool; Operator training simulators; Power systems

Sumário

CAPÍTULO 1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	Questões de pesquisa.....	15
1.2	Objetivo.....	17
1.3	Metodologia	18
1.4	Estrutura do documento	18
CAPÍTULO 2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
2.1	Avaliação de treinamentos	22
2.2	Ferramentas de apoio ao treinamento na área de sistemas elétricos	24
2.3	Trabalhos do grupo.....	28
2.4	Análise de desempenho na execução da tarefa	30
2.5	Considerações	32
CAPÍTULO 3	Avaliação de treinamentos	34
3.1	Método para avaliação do treinamento	34
3.2	Ferramenta para Avaliação do Treinamento (FAT)	38
3.3	Análise da fadiga do operador.....	58
3.4	Investigação do estado do participante do experimento.....	66
3.5	Considerações do capítulo.....	72
Capítulo 4	Estudos de casos	73
4.1	Avaliação de treinamentos realizados no SimuLIHM.....	73
Capítulo 5	84
5.1	Avaliação de treinamentos no ambiente SAGE e SIMULOP	85
5.2	Discussões e considerações finais	89
CAPÍTULO 6	CONCLUSÕES E PROPOSIÇÃO DE TRABALHOS FUTUROS	93
6.1	Conclusões	94
6.2	Sugestões de Trabalhos futuros.....	96
	Referências bibliográficas	98

Apêndice A. Modelo do banco de dados da FAT	103
Apêndice B. Questionário Pré-teste - Perfil do Usuário.....	110
Apêndice C. Apêndice E - Questionário Pós-Teste.....	112
Apêndice D. Planejamento do experimento com o SimuLIHM.....	114

Lista de Figuras

Figura 1-1 Hierarquia do treinamento	14
Figura 2-1 Ambientes de treinamento	20
Figura 2-2 Tela do SimuLIHM	28
Figura 2-3 Tabela para descrição das regras (Fonte: Faria et al, 2009).....	28
Figura 3-1 Ciclo de treinamento.....	34
Figura 3-2 Método de avaliação.....	35
Figura 3-3 Estrutura da Ontologia da Avaliação de treinamento	37
Figura 3-4 Elementos que compõem a ontologia Avaliação.....	38
Figura 3-5 Arquitetura dos módulos da ferramenta proposta.....	40
Figura 3-6 Diagrama E-R do BD destacando as tabelas relativas à avaliação	41
Figura 3-7 Diagrama ER do BD destacando as tabelas: cenário, sessões e ações.....	42
Figura 3-8 Diagrama de sequência de mensagem de uma avaliação.....	43
Figura 3-9 Diagrama de casos de uso do módulo de visualização da FAT.....	44
Figura 3-10 Diagrama de Classe do módulo de avaliação	45
Figura 3-11 Diagrama de sequência de mensagem para uma avaliação	46
Figura 3-12 Fluxo de dados do módulo extrator	46
Figura 3-13 Tela para inserção dos dados do planejamento.....	47
Figura 3-14 Tela para inserção das datas do planejamento	48
Figura 3-15 Telas de criação de cenário e de sessão	48
Figura 3-16 Diagrama de sequência de mensagens do Módulo Editor de Atividades ...	49
Figura 3-17 Tela principal do Módulo Editor de Atividades	50
Figura 3-18 Tela descrição das tarefas no Módulo Editor de Atividades.....	51
Figura 3-19 Fluxo de dados do módulo analisador de registro	52
Figura 3-20 Algoritmo para identificação do erro de omissão	52
Figura 3-21 Fluxograma para identificar o erro "ação inapropriada".....	54
Figura 3-22 Fluxograma para identificar o erro "ação correta sobre objeto errado"	55
Figura 3-23 Fluxo de dados do módulo de visualização	56
Figura 3-24 Diagrama de casos de uso do módulo de visualização	56
Figura 3-25 Tela de busca de um treinamento	57
Figura 3-26 Tela de visualização dos participantes de um treinamento.....	57
Figura 3-27 – Tela de visualização dos detalhes dos resultados por tarefa.....	58
Figura 3-28 Interface <i>FMTApp</i>	61
Figura 3-29 Interface FMTDevelopment.	61
Figura 3-30 Camadas da FMT.....	62
Figura 3-31 Emotiv EPOC	65

Figura 3-32 Exemplo de questionários NASA TLX preenchido	68
Figura 3-33 Resultado do NASA-TLX para um dos participantes.....	69
Figura 3-34 Questionário D2 respondido	70
Figura 4-1 Participante durante o experimento	75
Figura 4-2 Tela do usuário durante o experimento.....	76
Figura 4-3 Total de erros cometidos na Tarefa 01	79
Figura 4-4 Total de erros na Tarefa 02	79
Figura 4-5 Classificação e quantidade por tipo de erro	80
Figura 4-6 Tempos de execução da tarefa 02.....	81
Figura A-1 Tabelas relacionadas ao Módulo de Avaliação.....	103
Figura A-2 Módulo do histórico.....	104
Figura A-3 Diagrama ER do modelo de dados do Módulo objeto.....	105
Figura A-4 Módulo dos participantes.....	106
Figura A-5 Módulo do participante (usuário)	107
Figura A-6 Módulo das atividades prescritas	108
Figura A-7 Módulo das informações de um treinamento.....	109

Lista de Tabelas

Tabela 3-1	Resumo da contabilização dos erros e acertos no questionário D2.....	71
Tabela 3-2	Resumo da parametrização dos resultados	71
Tabela 4-1	Trecho do roteiro de manobra	76
Tabela 4-2	Resumo dos resultados da execução da tarefa 01	77
Tabela 4-3	Resumo dos resultados da execução da tarefa 02	78
Tabela 4-4	Resumo dos dados coletados para a Tarefa 1	83
Tabela 4-5	Resumo dos dados coletados para a Tarefa 2.....	84

Lista de Quadros

Quadro 3-1	Trecho de código para identificar erro de omissão	53
-------------------	----------------------------------------------------------------	-----------

Lista de abreviaturas e siglas

3D - Três Dimensões

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

API – *Application Programming Interface*

ASTRO - Ambiente Simulado para Treinamento de Operadores

AVA - Ambientes Virtuais de Aprendizagem

BCI – *Brain-Computer Interface*

BD – Banco de Dados

CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica

CHESF - Companhia Hidro-Elétrica do São Francisco

CIM – *Common Information Model*

CLOSNO – *eye closure rate*

COS - Centro de Operação do Sistema

CT – Cenário de Treinamento

CTEEP - Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista

FAT – Ferramenta de Avaliação do Treinamento

FMT - *Fatigue Monitoring Tool*

ISO - *International Organization for Standardization*

JDBC - *Java Database Connectivity*

JDK – *Java Development Kit*

LIHM - Laboratório de Interface Homem-Máquina

MFD - *Multifunction Display*

NBR - Norma Brasileira

O & M - Operação e Manutenção

ONS - Operador Nacional de Sistemas

PDF – *Portable Document Format*

PEOI - Protocolo Experimental para Observação da Interação

PERCLOS - *Percentage of eyelid closure*

PFD - *Primary Flight Display*

QTS – *Quality Training Systems*

SAGE – Sistema Aberto de Gerenciamento de Energia

SAT - *Systematic Approaches to Training*

SE – Subestação Elétrica

SGBD – Sistema Gerenciador de Banco Dados

SIMULOP – Simulador de Operação

SQL - *Structured Query Language*

STPO – Simulador para Treinamento de Proteção e Operação

STriPP – Simulador Tridimensional em Primeira Pessoa

TCC - Trabalhos de Conclusão de Curso

TLX - *Task Load Index*

UoS – *University of Strathclyde* (Universidade de Strathclyde)

XML – *Extensible Markup Language*.

Capítulo 1 INTRODUÇÃO

Treinar é realizar atividades que resultem na aquisição de conhecimentos específicos, habilidades ou comportamentos necessários ao desenvolvimento de atividades específicas, de acordo com normas internas ou externas a uma organização (Borges-Andrade, et al, 2006) e (ISO, 2001). No treinamento se busca condicionar o treinando para realizar as tarefas de forma sistemática, diminuindo a sobrecarga, isso quer dizer que busca-se intensificar os reflexos para execução da atividade.

Exemplos de exigências de treinamentos são encontrados em várias áreas de atuação. Pilotos de aeronaves são treinados até que demonstrem domínio suficiente das habilidades e competências para operar uma aeronave de forma segura. Cirurgiões são treinados para evitar erros com graves consequências, os quais poderiam ocorrer caso não tivessem o domínio das habilidades requeridas ao exercício dessa profissão. No caso dos operadores de sistemas elétricos, estes são responsáveis pela operação do sistema elétrico, interligado em uma malha nacional, e seus erros podem ocasionar prejuízo financeiro e pôr em risco a vida de pessoas.

A qualidade da operação de um sistema industrial está diretamente associada à qualidade do treinamento oferecido aos seus operadores. Uma avaliação adequada do treinamento permite identificar lacunas nas habilidades e conhecimentos adquiridos, particularmente aqueles voltados ao treinamento na execução de suas atividades, além de possibilitar a avaliação da eficácia do treinamento, que pode resultar no aumento da eficiência no uso dos recursos.

A avaliação de treinamentos na indústria tem como foco a análise do índice de aprendizado e o impacto deste aprendizado sobre a qualidade da tarefa realizada. Este é também o foco adotado neste trabalho que tem como objetivo apoiar o processo de análise do treinamento a partir da análise do registro do treinamento visando apoiar o planejamento de treinamentos subsequentes aumentando assim a eficiência no uso dos recursos.

No treinamento, o tutor¹ e o operador² desempenham os papéis principais. O tutor é o responsável por elaborar o treinamento e o operador é o participante submetido ao processo para ampliar e aperfeiçoar suas habilidades e conhecimentos. Por sua vez, os treinamentos são realizados sobre cenários elaborados com a finalidade de desenvolver aspectos específicos para execução das suas atividades. Nesta pesquisa um cenário está voltado para a realização de tarefas em um ambiente simulado e consiste na descrição: do estado inicial do ambiente de simulação; na descrição da evolução das ações (sequência de eventos que devem ocorrer no decorrer do treinamento) e; na descrição dos recursos que serão utilizados durante a evolução do cenário. Uma vez que no setor elétrico a sequência de ações do operador é antecipada, as tarefas e ações do cenário são programadas de acordo com o prescrito na documentação da empresa (normativos).

No setor elétrico, os cenários de treinamento são elaborados por tutores, baseados no seu conhecimento sobre ocorrências nas instalações; sobre as dificuldades na operação do sistema; no desempenho dos operadores em treinamentos prévios e na sua criatividade para definir situações de treinamento. A norma NBR ISO 10015 (ISO, 2001) dita que o cenário também se fundamenta nas necessidades de competência dos operadores e na dinâmica de configuração das instalações, que demandam frequentes atualizações nos treinamentos. Os cenários de treinamento representam situações de rotina ou emergência (excepcionais).

Para assegurar sua correta utilização, os dados relativos a um cenário de treinamento devem ser estruturados, seja para aplicação em um ambiente real ou simulado. Neste último caso a descrição deve ser adequada à utilização como entrada na programação de ambientes de simulação, os quais são utilizados no treinamento de operadores. Os treinamentos são realizados em sessões, nas quais participam os operadores, em dupla ou individualmente. Cada sessão tem a duração em torno de 30 a 50 minutos; em função da complexidade da tarefa proposta no treinamento.

Na Figura 1-1 é ilustrada a estrutura hierárquica de um treinamento. Como pode ser visto, um treinamento é composto de um ou mais cenários, e para cada cenário são

¹ Neste trabalho os termos tutor e instrutor são adotados como sinônimos, referindo-se aos responsáveis por elaborar e aplicar o treinamento.

² Neste trabalho treinando e operador são considerados sinônimos, referindo-se às pessoas que recebem o treinamento.

realizadas tantas sessões quantas forem necessárias para acomodar a participação de todos os operadores.

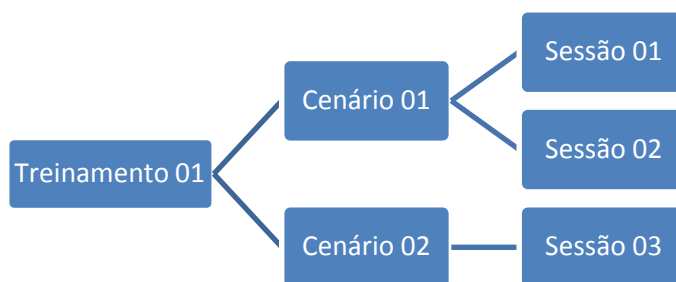


Figura 1-1 Hierarquia do treinamento

Nesta tese a definição que será adotada para eficiência e eficácia, foi retirada da NBR 9241 – Parte 11 (ISO, 2011) que trata de requisitos de ergonomia e usabilidade. A eficácia consiste "os usuários alcançarem os objetivos planejados". Já eficiência são os “recursos gastos em relação ao resultado e abrangência com as quais usuários atingem objetivos”.

Ao avaliar as atividades realizadas durante um treinamento busca-se identificar a eficiência e eficácia com que foram realizadas pelo operador. Portanto, investiga-se a eficácia da solução e eficiência com que foi aplicada. Por exemplo, o operador pode ser eficaz, pois identificou um problema e o corrigiu, porém pode não ter sido eficiente se for considerado o tempo gasto na identificação e aplicação o qual pode ultrapassar o previsto ou estipulado nas normas do setor.

A renovação do contingente de operadores no setor elétrico, decorrente de aposentadoria e da introdução de novas tecnologias de automação, tem demandado um investimento crescente de recursos no planejamento e aplicação de treinamentos aos operadores. Um investimento que se destaca é no uso de ambientes de treinamento baseados em simuladores, os quais possibilitam um treinamento mais realista sem apresentar riscos para os operadores ou para a instalação (Sampaio et al, 2012).

Com o avanço tecnológico é cada vez maior o número de instalações desassistidas localmente, com a conseqüente concentração de um maior número de instalações sob o comando de um número reduzido de operadores, o que vem elevando a complexidade da operação. Em paralelo há também uma tendência à substituição da operação sobre painéis de controle pela operação a partir de sistemas supervisórios, com os desafios que isto impõe aos operadores mais antigos.

Dada a reconhecida relevância do treinamento na operação de sistemas elétricos, para as empresas do setor e órgãos reguladores, este tema vem sendo alvo de numerosas publicações (Bezerra et al, 2007), (Costa et al, 2010), (Nascimento et al, 2008), (Ribeiro Júnior e Alves, 2010). Estas, no entanto não abordam a questão da avaliação do treinamento. Segundo os responsáveis por treinamentos nas empresas do setor, entrevistados durante esta pesquisa, e com base nos estudos realizados ao longo deste trabalho, constatou-se que a avaliação do treinamento não é padronizada nas empresas e depende essencialmente da experiência (conhecimento tácito) dos tutores. Estas avaliações consistem no registro das observações durante o treinamento sem, no entanto adotar indicadores comuns nem ferramentas que apoiem esta tarefa. Outro método adotado é o emprego de *checklists*, durante o treinamento, contendo os pontos a serem observados e avaliados. Porém, devido à dinâmica da evolução dos treinamentos nem sempre este registro é realizado.

Nos treinamentos em simuladores, a exemplo dos treinamentos realizados na empresa CHESF (Ribeiro Junior e Alves, 2010), a observação e registro das ações do operador na tela do computador, sem o apoio de ferramentas é uma tarefa difícil. Os engenheiros responsáveis pelo treinamento na empresa constataram que a adoção de treinamentos em simuladores reduziu o erro humano.

Os treinamentos realizados nas empresas do setor elétrico são categorizados em: formação, adaptação a mudanças, reciclagem e certificação. Este último, exigido pelo órgão regulador nacional, consiste em uma prova escrita. Neste caso a avaliação é do aprendizado do operador e não da eficácia do treinamento.

1.1 Questões de pesquisa

A partir da observação do treinamento e da análise da documentação resultante pode-se concluir que durante o treinamento existem diversos aspectos a serem avaliados. Então, como avaliar o desempenho dos operadores de sistemas elétricos (sistema, usina, subestação), durante o treinamento realizado com o uso de simuladores, de modo a facilitar a avaliação e obter resultados mais precisos do que aqueles já obtidos nos treinamentos oferecidos nas empresas do setor elétrico brasileiro?

A análise do registro de um treinamento em simuladores (*log*) é muito útil, particularmente em situações nas quais o tutor não consegue observar as atividades realizadas de forma completa e precisa em decorrência do grande volume de informações

a ser observado. Esta dificuldade resulta na perda de informações importantes sobre a atividade dos operadores. Este trabalho explora a avaliação do treinamento na análise automática do *log* e investiga a influência da fadiga sobre a atenção do operador e consequentemente sobre o seu rendimento durante o treinamento. Destaca-se que o *log* de uma sessão de simulação raramente é utilizado na avaliação dos resultados de um treinamento. No âmbito de sistemas elétricos, a maioria das avaliações de treinamento é apenas qualitativa. Apenas as avaliações teóricas são feitas quantitativamente, através de provas.

Dentre os trabalhos revisados no próximo capítulo, constatou-se a descrição de várias ferramentas para treinamento utilizando ambientes de simuladores 2D ou 3D para o treinamento em sistemas elétricos. No entanto se observa que a avaliação do treinamento é pouco abordada, tampouco são ferramentas de suporte à avaliação, nem há menção à proposição de novos treinamentos a partir da avaliação do impacto de treinamentos prévios. Observou-se que não são discutidos dados sobre o desempenho dos operadores, nem há menção sobre como as características físicas e emocionais dos operadores poderiam influenciar a execução da tarefa.

Fica também evidente a lacuna relativa à existência de critérios de avaliação para treinamentos em ambientes de simulação 3D (Nunes et al, 2011), apesar da relevância deste tipo de treinamento para o aprendizado de operadores de sistemas elétricos, por seu caráter motivador.

A partir do problema apresentado foram formuladas as seguintes questões de pesquisa:

Q1: O nível de fadiga do operador impacta no número de erros (desempenho) cometidos durante o treinamento?

Q2: O nível de fadiga é diretamente influenciado pelo número de horas de privação do sono do operador resultando em um maior o número de erros (desempenho)?

Q3: O número de erros (desempenho) do operador está relacionado ao nível de atenção inerente (D2) e ao nível de atenção registrado por ocasião do treinamento (desvio do olhar para o lado)?

Q4: O número de erros (desempenho) do operador está relacionado à carga de trabalho percebida?

Q5: O tempo gasto na tarefa pelo operador está relacionado ao nível de atenção do operador e portanto influencia o número de erros cometidos (desempenho)?

O desafio nesta pesquisa é compreender o contexto de treinamento de operadores de sistemas elétricos, normalizar os termos utilizados no setor no contexto de avaliação, modelar banco de dados com informações importantes para o treinamento e para o uso de uma ferramenta que contenha as informações das avaliações. A extração e análise do histórico do treinamento de diferentes simuladores, passa pela elaboração de algoritmos para identificar os diferentes tipos de erros do operador, e pela análise do estado fisiológico do operador, visando identificar sua influência na execução da tarefa.

1.2 Objetivo

Pesquisar as ferramentas e métodos utilizados na avaliação de treinamentos realizados em simuladores, visando propor alternativas que possam resultar no aumento da eficiência desses treinamentos na operação de sistemas elétricos. Os recursos para avaliação de treinamentos associados aos simuladores atualmente disponíveis avaliam apenas de forma simplificada o registro das sessões, se limitando a classificar as ações realizadas pelos operadores, como corretas ou erradas; deixando ao tutor a tarefa de analisar a sessão, em tempo real, para elaborar um diagnóstico do impacto do treinamento sobre o aprendizado do operador. Assim, o objetivo deste trabalho é propor um método, apoiado em uma ontologia sobre treinamentos, e uma ferramenta para avaliar o desempenho dos operadores nos treinamentos, com base no registro das sessões realizadas em simuladores que disponibilizem este registro para análise.

A avaliação terá como base o histórico das ações realizadas nos simuladores utilizados nos treinamentos; comparando a tarefa prescrita (proposta no treinamento) com a tarefa realizada (registrada pelo simulador). A análise do *log* tem um caráter quantitativo e visa identificar as necessidades que serão tratadas em novos treinamentos permitindo acompanhar a evolução das habilidades e do conhecimento do operador em relação a si próprio e em relação à sua equipe. A avaliação dos resultados considerará critérios tais como o tempo para a realização da tarefa e tipos de erros cometidos. A ferramenta possibilitará avaliar o efeito do treinamento sobre o desempenho do operador, sistematizando o procedimento de análise e reduzindo o esforço de avaliação. Nesta pesquisa será também investigada a análise de parâmetros fisiológicos na avaliação do desempenho.

1.3 Metodologia

A pesquisa para elaboração deste trabalho é aplicada ao contexto de sistemas elétricos e tem como requisitos identificar métodos e técnicas para aumentar a eficiência do treinamento. O público alvo da pesquisa são os técnicos e os engenheiros da área de sistemas elétricos, que necessitam treinar e avaliar as ações realizadas nos ambientes de operação de sistemas seja subestações ou centros de operação, a partir de ambientes simulados. Para alcançar os objetivos desta pesquisa, o trabalho foi dividido em três etapas, a segunda destas realizada na forma de um estágio no exterior (doutorado sanduíche).

Na primeira etapa foi realizada a pesquisa bibliográfica no tema de treinamentos explorando a elaboração de treinamentos, o conceito de um cenário de treinamento e métodos de avaliação. Nesta etapa foi proposta uma estrutura para representar as informações que são necessárias em uma avaliação de treinamentos utilizando ontologias. O uso de ontologias visa a interoperabilidade entre diferentes simuladores.

Com base nestas informações, foi construído o protótipo da ferramenta concebida para apoiar a avaliação de treinamentos.

Na etapa seguinte, realizada no Departamento de Engenharia Eletrônica e Elétrica da Universidade de Strathclyde (UoS) no Reino Unido, foram realizados experimentos visando investigar a relação entre o nível de fadiga do operador e os índices de desempenho alcançados na realização de tarefas com o simulador. Para a detecção de fadiga foram empregadas diferentes técnicas, descritas no protocolo experimental empregado na observação do comportamento. Este protocolo foi desenvolvido no Laboratório de Interfaces Homem-Máquina (LIHM) da UFCG, adotado no LIHM (PEOI). Ao protocolo foi acrescentada a detecção de níveis de fadiga a partir do processamento de imagens do vídeo com base em um protocolo adotado na Universidade de Strathclyde.

Na terceira e última etapa, a ferramenta de avaliação foi refinada e aplicada na avaliação de treinamentos realizados em uma empresa do setor elétrico brasileiro, que como as demais utiliza o simulador SIMULOP.

1.4 Estrutura do documento

Este documento está organizado em cinco capítulos incluindo a introdução. No segundo capítulo é apresentada a revisão bibliográfica do estado da arte, abordando suas contribuições e limitações de modo a posicionar esta pesquisa. No terceiro capítulo é

descrita a abordagem de avaliação de treinamentos proposta neste trabalho, e as ações que foram realizadas visando atingir este objetivo. Estas ações incluem a concepção de uma ontologia para avaliação de treinamentos, a aplicação de ferramentas adotadas na psicologia do trabalho para avaliar o estado de fadiga durante um treinamento, e por fim uma ferramenta desenvolvida ao longo deste trabalho para apoiar a avaliação dos treinamentos em simuladores, com base na análise do registro (*log*) da sessão de treinamento. No quarto capítulo são descritos os experimentos de validação e resultados obtidos. No quinto e último capítulo são apresentadas as conclusões, discussões das limitações e proposição de trabalhos futuros.

Capítulo 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica foi iniciada com o foco no treinamento de operadores utilizando simuladores em diferentes contextos. Em seguida a pesquisa foi dirigida ao domínio de sistemas elétricos, tendo sido encontrados diversos simuladores para o treinamento neste domínio, evidenciando a relevância e atualidade do tema deste trabalho, ao mesmo tempo em que foi constatada a lacuna no que diz respeito aos métodos e ferramentas para avaliação.

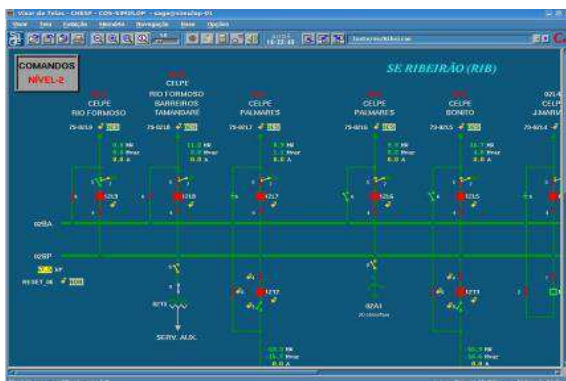
De acordo com Moreira, et al (2012) o treinamento é uma forma específica de aquisição do conhecimento e, na maioria das vezes, é um processo caro que apresenta riscos para a integridade física dos aprendizes. Esta forma de aprendizado possibilita que o profissional repita a atividade e analise seu desenvolvimento, construindo uma base sólida de conhecimento. Na Figura 2-1 são ilustrados os ambientes típicos de treinamentos na operação de sistemas elétricos.



(a) Ambiente real de trabalho



(b) Ambiente simulado



(c) Tela do sistema supervisório



(d) Pátio de uma subestação

Figura 2-1 Ambientes de treinamento

O treinamento pode ser no próprio ambiente de trabalho, que consiste em sala de comando da instalação (Figura 2-1a) ou em salas de operação e em pátios de subestação (Figura 2-1d). Neste tipo de treinamento, representa-se uma situação real, de forma teatral, colocando-se no cenário objetos danificados tais como cabos e isoladores e deixando-se mensagens orientando o operador durante a inspeção da instalação, seja esta realizada no campo ou na sala de comando, simulando chaves auxiliares sobre os painéis de controle. No entanto esta é uma situação que representa riscos para o sistema e para os treinados. Visando minimizar os riscos foram desenvolvidos simuladores como Figura 2-1b nos quais o operador navega em ambientes 3D que representam o ambiente real; ou ainda utilizando o próprio sistema supervisor da empresa (Figura 2-1c) adaptado para simular o comportamento da carga como no sistema real porém com a capacidade de gerar eventos programados.

O operador de uma instalação (subestação ou usina) desempenha sua função de operação do sistema em tempo real. Durante a atividade, comunica-se com um Centro de Operação do Sistema (COS) e com a equipe de manutenção (mantenedor). Neste trabalho o foco é na operação de instalações a partir da subestação. Outro tipo de operador são os técnicos de O&M que além de operar a instalação diretamente em colaboração com o operador de COS, ou liberá-la para ser comandada remota e diretamente pelo COS; o operador da instalação pode exercer, quando necessário, atividades de manutenção. Neste trabalho, o termo operador será utilizado para designar tanto quem opera a instalação quanto quem realiza o papel do mantenedor (Sampaio et al, 2012).

Os trabalhos relacionados foram consultados através da ferramenta de busca do Google³, utilizando-se as palavras chave deste trabalho e de termos relacionados: "treinamento de operadores de sistemas elétricos", "metodologia para avaliação de treinamento", "avaliação baseada no registro das ações" e "avaliação de operadores de sistemas elétricos". Os resultados das consultas levaram a documentos da base do IEEE⁴ os quais são apresentados a seguir.

³ Acessado através do site: www.google.com.br

⁴ Acessado através do site: <http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>

2.1 Avaliação de treinamentos

A avaliação das competências adquiridas durante um treinamento consiste em essência na análise da tarefa realizada comparada à tarefa prescrita. Análise de tarefas produz informações detalhadas e descritivas sobre as tarefas e operações de um trabalho, bem como sobre as condições nas quais são executadas. Na análise é avaliada a relevância, frequência e dificuldade da tarefa. Essas informações, aplicadas à avaliação de um treinamento pode apoiar a identificação das necessidades de treinamento, o tipo de conteúdo relevante, as prioridades e os objetivos do treinamento (Abbad, 1999). A análise da tarefa para avaliação do treinamento no setor elétrico é atualmente realizada com base no conhecimento tácito dos tutores.

No âmbito da administração de empresa, existem pesquisas e modelos como o proposto por McGehee e Thayer, apud. (Abbad, 1999) que dependem da coleta de dados sobre a necessidade de um programa de treinamento. Uma breve análise da operação de sistemas elétricos evidencia a crescente complexidade na operação dos sistemas (Abreu, et al 2012). Esta complexidade decorre de uma demanda crescente de consumo e da elevação dos padrões de qualidade do serviço, com penalidades para desligamentos independentemente das causas (falha humana ou falha material).

Estas pressões levaram as empresas a investir no uso de simuladores nos treinamentos, minimizando custos de treinamento e aumentando a motivação dos treinados, além de minimizar custo com logística para treinamentos Melo et al (2012), Moreira et al (2012), Miranda et al, (2008) e Spanel e Kreutz (2002). Seguem alguns exemplos da aplicação de simuladores no treinamento de operadores de outros contextos de trabalho.

Martinie et al. (2011) propõem um treinamento baseado em modelos os quais integram o modelo da tarefa, o sistema e os procedimentos. Esta é uma ramificação do "*Systematic Approaches to Training*" (SAT), o qual consiste na descrição de um processo para treinamentos. No trabalho de Martinie foi aplicado à análise de componentes terrestre de satélites e se relaciona a pesquisa desta tese, por avaliar o treinamento a partir da análise da tarefa realizada. Por outro lado, se restringe em comparar a semelhança da tarefa prescrita com a realizada, sem classificar erros ou determinar índices de rendimento alcançados.

Lopes, et. al. (2008) descrevem o uso de um simulador para treinar no corte e armazenamento de árvores, com avaliação do treinamento com base nos parâmetros:

tempo de execução no corte da árvore, direção de queda, altura de corte, eficiência no processamento, eficiência no empilhamento e produtividade. Observa-se, no entanto que não é empregada uma ferramenta para análise dos dados, os quais são tratados e analisados pelo tutor, após o treinamento. A análise dos dados permanece manual, mesmo na nova versão apresentada em Pagnussat, et al. (2014).

Dudley, et. al. (2008) aborda o treinamento na operação de uma planta nuclear, com base em um simulador. O trabalho cita que o simulador pode ser acoplado a um módulo para avaliação, o qual ainda não foi desenvolvido. Nele é proposto que o módulo analise a duração dos eventos e empregue um mecanismo contínuo de pontuação. Ao apresentar o simulador é enfatizado que o instrutor pode acompanhar as atividades e interagir durante o treinamento, consequentemente delegando a avaliação ao instrutor.

O artigo de Krey (2007) aborda os avanços tecnológicos no setor de aviação, e destaca o uso de diferentes tecnologias no treinamento de pilotos, a exemplo do "*Primary Flight Display (PFD)*". Este display é integrado ao sistema de voo e apresenta na tela as informações: altitude e velocidade do ar. Outra tecnologia empregada no treinamento é a integração do "*Multifunction Display*" (MFD) à aeronave, exibindo dados do motor e do sistema de navegação: mapas e tráfego aéreo. No artigo é mencionado que a avaliação se fundamenta na análise realizada pelo instrutor, o qual tem acesso a diferentes parâmetros que permitem a determinação dos pontos fracos que precisam ser trabalhados. O artigo enfatiza a relevância do treinamento com simuladores para o desenvolvimento das habilidades específicas à atividade. Semelhantemente aos operadores, os pilotos realizam atividades prescritas e normatizadas.

Em Nunes et al (2011) é tratada a importância o uso crescente dos Ambientes Virtuais de Aprendizagem (AVA's) no treinamento na área médica com a inclusão de recursos de realidade virtual e, de realidade virtual aumentada (ambientes 3D) denominados AVA 3D. No trabalho foi realizada uma avaliação da aquisição do conhecimento em dois grupos de treinados. No primeiro, o grupo de controle, foi empregado o processo convencional de ensino, enquanto no grupo experimental foram utilizadas imagens 3D no ambiente AVA, com as quais os alunos podiam interagir. Como avaliação somativa foi aplicada uma prova escrita, na qual o grupo experimental obteve notas superiores às do grupo de controle, evidenciando o impacto positivo dos recursos do AVA 3D no processo de aprendizagem. O trabalho ressalta que ainda não há na literatura uma metodologia e ferramenta que possibilitem a avaliação autônoma pelos

sistemas. Porém o trabalho apresenta critérios para avaliar o rendimento alcançado com AVA's 3D: o tempo estimado para completar a tarefa, o nível de participação do usuário durante o treinamento e; a consideração das diferenças individuais. O artigo destaca a lacuna existente na avaliação da aquisição do conhecimento, tema central desta tese.

Dentre os trabalhos pesquisados quanto aos mecanismos adotados na avaliação do treinamento de operadores de sistemas elétricos, destacam-se os trabalhos de Leite et al (2007) e Ribeiro e Alves, (2010), realizados respectivamente nas empresas CHESF e Furnas Eletrobrás. Estes trabalhos citam dois mecanismos de avaliação: provas escritas com a atribuição de nota; e avaliação de atividades práticas. Esta última consiste na observação, pelo tutor, do operador em atividade. A atividade pode ser gravada em vídeo e posteriormente apresentada aos operadores, durante uma discussão, quando são confrontados com suas dificuldades e erros, visando esclarecer onde erraram e como a tarefa deveria ter sido realizada. Quando não há registro em vídeo, a discussão com os operadores é realizada logo após o treinamento, com o mesmo propósito de oferecer realimentação sobre suas atuações durante a realização da tarefa.

No âmbito internacional, a empresa *Quality Training Systems* - (QTS, 2012) se destaca como consultora atuante nesta área, nos Estados Unidos da América. Esta empresa foi contratada pelo CEPTEL para oferecer treinamento no uso do SAGE SIMULOP (Leite et al, 2007), propôs os métodos de avaliação formativa e somativa; apoiados pelo uso de cartões de acompanhamento (tabelas contendo a descrição das ações prescritas) utilizadas pelo tutor durante as avaliações. Nestes cartões são registradas as ações realizadas pelo operador em treinamento e as observações sobre o operador. Nesta abordagem voltada para simuladores como ferramentas de treinamento, não são utilizadas ferramentas para auxiliar o tutor na avaliação.

2.2 Ferramentas de apoio ao treinamento na área de sistemas elétricos

Após uma análise na bibliografia foi observado que existe um vasto número de ferramentas para apoio ao treinamento de operadores na área de sistemas elétricos, por outro lado o suporte oferecido aos tutores por estas ferramentas para a avaliação do treinamento é limitado ou inexistente. A seguir é apresentada uma síntese do que foi encontrado na literatura sobre avaliação de treinamentos no setor elétrico.

2.2.1 ASTRO

O Ambiente Simulado para Treinamento de Operadores (ASTRO) na operação de sistemas elétricos, desenvolvido no CEPEL em conjunto com a Eletrosul e, descrito em (Silva et al, 2009), oferece suporte à avaliação de um treinamento através de um analisador de desempenho, utilizado na análise e qualificação de uma simulação realizada.

O ASTRO consiste de três módulos: um editor de cenário; um programa de simulação da operação; e um analisador de desempenho. O editor de cenários, através de uma interface gráfica, permite a criação de situações de treinamento. Os eventos são descritos a partir de autômatos (formalismo para modelagem de eventos discretos), o que restringe a elaboração do cenário àqueles que conhecem o formalismo. No cenário são definidos: o estado inicial de um distúrbio, as transições, os estados intermediários. A ferramenta armazena o *log* das interações. A evolução da simulação depende do tutor, que informa os estados intermediários: válidos ou não. Notas são atribuídas ao desempenho do operador durante situações de normalização do sistema. O suporte à avaliação consiste do analisador de desempenho, que apoia o instrutor do treinamento (tutor) na análise e qualificação de uma simulação realizada.

Esta ferramenta gera realimentação para o operador de modo que possa auto avaliar seu desempenho e aprimorá-lo, seja nas próximas etapas do treinamento, seja na sua rotina profissional. No entanto, este suporte e diagnóstico é limitado, já que apresenta como resultado apenas as ações consideradas inválidas, não tratando os tipos de erro humano característicos da operação de um sistema elétrico, nem leva em consideração características fisiológicas durante a execução da tarefa.

2.2.2 SIMULOP

O SAGE (Sistema Aberto de Gerenciamento de Energia) é o sistema supervisor utilizado por várias empresas do setor elétrico no monitoramento e operação do sistema. O SIMULOP (Simulador de Operação), desenvolvido pelo CEPEL, em conjunto com a empresa CHESF, consiste da associação do sistema SAGE ao simulador digital de redes elétricas: EPRI-OTS. O simulador digital consiste de um "motor de simulação" (modelo matemático) do sistema elétrico, que substitui o sistema elétrico real durante uma simulação, para fins de treinamento de operadores. A integração do SIMULOP ao SAGE utiliza a tecnologia CIM - *Common Information Model* (Leite et al, 2007); modelo de dados padronizado pela norma IEC-61970 (IEC, 2005).

O SIMULOP foi concebido originalmente para o treinamento de operadores de sistema, porém recentemente a empresa CHESF o vem utilizando no treinamento de operadores de subestação. O SIMULOP é um dos simuladores mais utilizados pelas empresas geradoras de energia no país. Ele oferece um subsistema educacional. O qual disponibiliza um conjunto de recursos para o desenvolvimento dos cenários de treinamento. Cada cenário corresponde a um ou mais grupo de eventos, associado a um caso base (caso padrão). Este simulador possibilita ao instrutor monitorar e, gravar as ações dos treinados no ambiente (*log*) para análise posterior. No entanto não oferece suporte para efetuar esta análise, dependendo apenas da experiência do tutor.

Dadas as dificuldades na edição dos cenários, particularmente para o treinamento de operadores de subestação, encontra-se em desenvolvimento na UFCG, um projeto de P&D para apoiar a construção de cenários. A principal dificuldade observada no uso do editor de cenários foi a inexistência de uma documentação esclarecendo e orientando sobre a construção de um cenário. A partir da utilização do SIMULOP, com o apoio de um instrutor da empresa CHESF ficou claro que a definição de um cenário inicia com a captura de um “caso base” no SAGE e a definição de uma situação de treinamento com os eventos associados. A principal limitação do SIMULOP consiste em não oferecer recursos para a descrição do cenário, além do arquivo executável, e a escassez de recursos para a avaliação do desempenho do operador, além da existência de um *log* e do *playback* oferecidos pelo EPRI-OTS.

A CTEEP (companhia de transmissão de energia elétrica paulista) desenvolveu para uso com o SIMULOP um ambiente virtual para treinamentos que replica uma sala de comando de uma subestação, contendo os recursos e equipamentos que compõe este ambiente (Costa et al, 2010). Porém do ponto de vista computacional este ambiente apresenta as mesmas limitações do SIMULOP, delegando a análise do desempenho aos tutores que devem estar presentes durante o treinamento para observar a a simulação.

2.2.3 STPO

Desenvolvido na Universidade Federal do Ceará, o STPO – Simulador para Treinamento de Proteção e Operação, pode ser aplicado em treinamentos presenciais e a distância. O sistema compreende em um emulador de sistemas supervisório denominado (EmulaScada) e o programa do simulador para treinamento de proteção e operação de sistemas elétricos (Bezerra et al, 2007).

O STPO é um programa composto de um diagrama unifilar sistêmico contendo os componentes de proteção, tais como disjuntores, religadores, transformadores e relés. Através do simulador é possível simular falhas e reconfigurar o sistema. Porém não possui suporte para os tutores elaborarem previamente os cenários de treinamento e nenhuma ferramenta de apoio para descrição destes cenários, concentrando a avaliação na análise do tutor.

2.2.4 STriPP

O Simulador Tridimensional em Primeira Pessoa (STriPP) foi desenvolvido pela Furnas Centrais Elétricas e está integrado ao SAGE, sistema de supervisão e controle da empresa (Ribeiro Junior e Alves, 2010). O simulador STriPP é composto de um ambiente tridimensional no qual o operador pode interagir com os objetos da instalação (subestação) e de uma ferramenta para gerenciar os cenários de treinamento. Um cenário de treinamento consiste da descrição do estado dos objetos presentes no treinamento e na descrição de falhas com as quais o operador deve lidar. Este simulador não permite a intervenção de um instrutor durante o treinamento nem oferece suporte para a avaliação do desempenho, a qual consiste apenas da observação do treinamento pelo tutor.

2.2.5 SimuLIHM

O SimuLIHM, é o simulador desenvolvido pela equipe do Laboratório de Interface Homem-Máquina (LIHM), na Universidade Federal de Campina Grande. Diferentemente dos simuladores apresentados, este tem como proposta treinar operadores nas manobras executadas em uma subestação tais como abertura de disjuntores e seccionadoras a partir da identificação de faltas no ambiente de uma subestação (Torres Filho et al, 2011) e (Vieira et al, 2010)

O SimuLIHM oferece dois ambientes de treinamento em um mundo virtual tridimensional: o ambiente de supervisão que representa o SAGE e o ambiente dos painéis de controle; ambos conectados através de motor de simulação. O motor de simulação representa o comportamento dos objetos presentes na planta, sem no entanto representar o comportamento do sistema elétrico como é o caso do EPRI-OTS. Outro módulo apresenta uma interface com o tutor, através do qual é possível configurar um cenário de treinamento; acompanhar as ações do operador e, gerar eventos interativamente durante a execução de um treinamento.



Figura 2-2 Tela do SimuLIHM

O ambiente virtual tridimensional (3D) do operador disponibiliza dois modos de interação com a planta simulada: através da tela do supervisor e através dos painéis de controle, como ilustrado na figura 2-2.

2.2.6 DiagTutor

Outra ferramenta, semelhante em propósito àquela desenvolvida neste trabalho, é apresentada em (Faria et al, 2009). Esta ferramenta, ilustrada na Figura 2-3, utiliza sistemas tutores inteligentes e um conjunto de regras para avaliar a capacitação de operadores na identificação de faltas e na restauração do sistema. Porém ela não analisa o desempenho do operador com base no registro da tarefa executada, mas sim na descrição textual fornecida pelo operador sobre quais atividades faria para identificar um problema. A partir da descrição elaborada pelo operador, o sistema tutor inteligente avalia a estratégia proposta, aponta falhas no raciocínio e propõe novos cenários.

Prediction Table		
Phase 1: Breaker tripping		Plant 1: 3SD Panel 1: 622
		Date/Hour
Premise 1	TRIPPING 01	T1 14-DEC-2003 08:24:45.200
Premise 2	BREAKER 00	T2 14-DEC-2003 08:24:45.240
Premise 3	$ T1 - T2 \leq 30$	
Premise 4		
Premise 5		
Conclusion	Mono-phase tripping of unknown type	T1 14-DEC-2003 08:24:45.200

Figura 2-3 Tabela para descrição das regras (Fonte: Faria et al, 2009)

2.3 Trabalhos do grupo

Para delimitar as contribuições do trabalho em relação ao grupo nesta seção será apresentada uma breve descrição dos trabalhos que foram ou estão sendo desenvolvidos pelo grupo de pesquisadores do LIHM.

Protocolo Experimental - O Protocolo Experimental para Observação da Interação (PEOI) (Aguiar e Vieira, 2009) consiste em um conjunto de procedimentos que guiam o planejamento; a execução e a análise dos resultados de experimentos baseados

na observação do comportamento humano durante a realização de uma tarefa. O protocolo PEOI está organizado em seis etapas, organizadas em processos os quais são detalhados em atividades. Cada etapa está associada a um ou mais objetivos e resultados que devem ser alcançados pelo participante durante a execução de uma tarefa. As etapas do protocolo são: planejamento do experimento; treinamento dos participantes; elaboração e validação do experimento; realização do experimento; tabulação e análise de dados coletados. Este protocolo foi adotado não planejamento e realização dos experimentos relatados neste trabalho.

Ontologia de domínio – Um dos trabalhos ora em andamento é a representação de cenários de treinamento a partir da instanciação de ontologias de domínio (Torres Filho e Vieira, 2012). Essa abordagem vem sendo aplicada à concepção de cenários de treinamento tanto para o simulador SimuLIHM quanto para o SIMULOP. Esta abordagem tem se mostrado eficaz na redução da complexidade do processo de construção de cenários, particularmente no caso de autoria do ambiente virtual. Este trabalho adota a representação ontológica do cenário e a estende para incorporar conceitos voltados para a avaliação do desempenho do operador durante treinamentos. Além da extensão da ontologia, nesta pesquisa foi validada a ontologia original no que concerne o planejamento do treinamento. Com a inclusão dos conceitos relativos à avaliação do treinamento, o planejamento de um treinamento passou a incorporar descrição dos termos e relações associados à avaliação do treinamento de operadores em simuladores de sistemas elétricos.

O **estudo do erro humano** na operação de sistemas elétricos é um tema central nos trabalhos de pesquisa do LIHM (Guerrero et al, 2008), (Nascimento Neto et al, 2009) e (Scherer et al, 2012). Inicialmente foi definida uma tipologia para os erros cometidos pelos operadores a partir do estudo de um conjunto de relatórios de erro na operação do sistema elétrico, ao longo de 10 anos. Recentemente, este trabalho foi estendido por um período de cinco anos.

SimuLIHM - Nos experimentos realizados neste trabalho foi utilizado o simulador SimuLIHM, desenvolvido a partir de vários trabalhos de pesquisa (Torres et al, 2012), (Viera et al, 2010) e (Jorge et al, 2014) inclusive a pesquisa do mestrado deste autor (Silva Netto e Vieira, 2010). Além das dissertações e tese, houve também a contribuição de vários Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC) no nível da graduação. Para que pudesse ser utilizado nos experimentos desta pesquisa, o código do SimuLIHM

teve que ser adaptado para representar os cenários de treinamento. Dentre as alterações realizadas destacam-se: o armazenamento do registro das ações (*log*) em um banco de dados (BD). No histórico foram incluídos dados para permitir a inserção de comentários do tutor em uma ficha de acompanhamento do treinamento, no módulo tutor; e o armazenamento do roteiro de manobras (lista de atividades prescritas) no módulo do treinando, facilitando a consulta à lista de atividades que deve realizar. Também foi elaborado um manual simplificado de uso do simulador que encontra-se no Apêndice D dentro do planejamento do experimento realizado, pois para alguns participantes foi o primeiro contato com o SimuLIHM sendo preciso dar um treinamento das funcionalidades básicas do simulador.

Outro trabalho em andamento no grupo de pesquisa consiste em uma metodologia para propor estratégias e modelos de módulos de aprendizagem para a composição de treinamentos de operadores de sistemas elétricos em ambientes de *e-learning*. Esta metodologia se fundamenta no conhecimento das necessidades de treinamento, nos perfis dos treinados e nos recursos disponíveis e sua adequação aos conteúdos e propósitos dos treinamentos. A metodologia, denominada *i-blended*, aborda não apenas o aprendizado prático mas também o teórico e não se limita ao uso de simuladores; explorando vários recursos no processo de aprendizagem. (Focking et al, 2012), inclusive Ambientes Virtuais de Aprendizagem (AVAs). Neste trabalho foram adotados conceitos e termos propostas na ontologia concebida na pesquisa da metodologia *i-blended*, particularmente aqueles voltados para a avaliação do aprendizado, também tratado naquela pesquisa, mas sob um ponto de vista mais geral, isto é, tanto o aprendizado de natureza teórica quanto a prática. Por outro lado os resultados obtidos neste trabalho de tese, no que concerne a avaliação do treinamento em ambientes de simulação, contribuiu para a pesquisa do *i-blended* que pode integrar os resultados da avaliação de um treinamento prático com aqueles resultantes de outros métodos educacionais visando apoiar uma formação completa do usuário em um ambiente AVA voltado para o treinamento de operadores.

2.4 Análise de desempenho na execução da tarefa

A análise de erro humano começa com a suposição de que o operador tentou alcançar um objetivo através de um conjunto de ações. Se uma sequência de eventos pode ser descrita para atingir a meta, esta é dita como sequência de eventos "corretas" para esse objetivo. Então é dito que ocorreu um erro quando a sequência de eventos gerados pelo operador não corresponde a sequência correta para alcançar o objetivo. Neste caso, a

sequência de eventos é dito ser errada ou incorreta. A fim de definir estas sequências corretas de ações é comum considerar um evento ou tarefa uma composição estruturada, que define as restrições sobre a ordem em que podem ocorrer as ações (Wright et al, 1994).

Para analisar a qualidade de uma tarefa realizada, utiliza-se o conceito de tarefa estruturada em eventos e ações. A representação em um modelo de tarefa permite a definição de restrições sobre a ordem na qual as ações serão realizadas (Wright et al, 1994). Por outro lado, neste trabalho, analisa-se o erro humano do ponto de vista do conjunto de ações realizadas e eventos decorrentes, para alcançar um objetivo. Se uma sequência de ações e eventos levou a atingir a meta especificada para a tarefa diz-se que a sequência de ações é "correta". Por outro lado, ocorre um erro quando a sequência de ações e eventos não leva a alcançar o objetivo da tarefa, considerando-se uma sequência "incorreta".

Para entender a tipologia do erro que podem ocorrer durante a operação de sistemas elétricos foi utilizado um trabalho do grupo (Guerrero et al, 2008), que propôs uma tipologia para erro humano durante a operação de sistemas elétricos baseado em outros trabalhos da área de foram validados a partir da análise de relatórios de 10 anos de falhas de uma empresa do setor. Segundo esta tipologia os erros são classificados nas seguintes categorias:

- ação omissa (omissão): quando uma ação não é executada. Este erro está relacionado à execução incompleta de uma sequência de ações, ao omitir uma ação necessária à sua conclusão.
- execução incompleta: diferentemente da omissão, há a interrupção da sequência de ações partir de um ponto da atividade.
- ação repetida (repetição): quando uma ação é realizada mais vezes do que é necessário.
- acréscimo de uma operação (inclusão): quando uma ação não prevista é inserida na sequência de ações em execução.
- operação fora de sequência (sequência): quando uma ação é realizada antes ou depois da posição prevista na sequência, considerando a ordem de execução prescrita para as ações. Este tipo de erro está relacionado à intervenção em tempo não apropriado.

- intervenção em tempo não apropriado: quando uma ação é executada antes ou depois do tempo previsto, porém na sequência prevista. Este tipo de erro está relacionado a uma operação fora de sequência.
- posição da operação incorreta: quando o objeto tem mais de uma posição de operação e durante a execução da ações ele executa a ação correta mas coloca o objeto na posição inadequada.
- ação correta sobre o objeto errado: quando a ação é executada (abrir, fechar), sobre um objeto diferente do objeto alvo, porém do mesmo tipo.
- ação errada sobre o objeto correto: quando ação é realizada sobre o objeto-alvo, no entanto a ação realizada não é ação prescrita . Geralmente o que se denomina “erro de sinal”, a exemplo de abrir uma chave, ao invés de fechá-la.
- ação sem relação, sem intenção ou inapropriada: quando a ação ou o objeto não são aqueles previstos na manobra prescrita, ou seja é uma "ação errada sobre o objeto errado”. Neste caso o tipo do objeto não tem relação com as ações previstas.

2.5 Considerações

Os trabalhos que mencionam a avaliação objetiva da atuação de um treinando, utilizam diferentes meios de avaliação, apenas citam que foi cometido um erro e em alguns casos analisam o tempo do treinamento. Nesta pesquisa a abrangência da avaliação será ampliada com a classificação dos tipos de erro, que ocorrem no âmbito de sistemas elétricos.

O estudo aqui apresentado incluiu o levantamento de critérios tipicamente adotados no processo de avaliação. Foram considerados relevantes para este trabalho os critérios listados a seguir:

- uso adequado da fraseologia e termos durante a comunicação verbal entre operadores e centros de operação;
- ações executadas pelo operador e a sequência na qual que foram executadas;
- tempo despendido na realização da tarefa, na tomada de decisão, na identificação e resolução de problemas;
- conhecimento e uso adequado dos normativos da empresa e dos equipamentos de proteção;
- conhecimento do funcionamento e da localização dos objetos na instalação.

Na literatura não foram localizados trabalhos voltados para o desenvolvimento de uma ferramenta de avaliação de treinamento para sistemas elétricos, que faça a análise das tarefas prescritas e que apresente resultados quantitativos ampliando a abrangência da avaliação do treinamento para incluir a influência do estado do participante (cansaço e atenção) na execução da tarefa.

Esta pesquisa pretende-se preencher a lacuna da avaliação dos treinamentos na operação no setor elétrico, associando a avaliação qualitativa à quantitativa. Além disto, pretende-se pesquisar a influência do nível de cansaço e atenção durante o treinamento, sobre a qualidade da tarefa realizada.

Capítulo 3 Avaliação de treinamentos

A avaliação da eficácia de um treinamento é mensurada a partir da avaliação do aprendizado dos participantes. A avaliação dos treinamentos realizados com simuladores tem sido fortemente qualitativa e dependente do tutor responsável. Neste trabalho propõe-se a realização de avaliações qualitativas e quantitativas do treinamento, apoiadas por um método que inclui a avaliação na etapa de planejamento do treinamento, e trata a coleta e análise dos dados da avaliação, com base na descrição da tarefa prescrita.

Neste capítulo serão apresentados o método e os recursos empregados na avaliação do desempenho de operadores durante treinamento. Nele é apresentada uma ferramenta para análise de desempenho com base no histórico (*log*) do treinamento e na descrição da tarefa prescrita. Neste capítulo também é discutida a relação entre o desempenho de um treinando durante um treinamento e seu estado de fadiga, detectado a partir de dados fisiológicos (EEG), análise de vídeo e da aplicação de ferramentas oriundas da área de psicologia do trabalho.

3.1 Método para avaliação do treinamento

O processo de treinamento consiste em definir as necessidades do treinamento, no planejamento, na execução e na avaliação, como ilustrado na Figura 3-1(ISO, 2001), e é considerado cíclico, pois os treinamentos sempre devem ser realizados nas empresas.

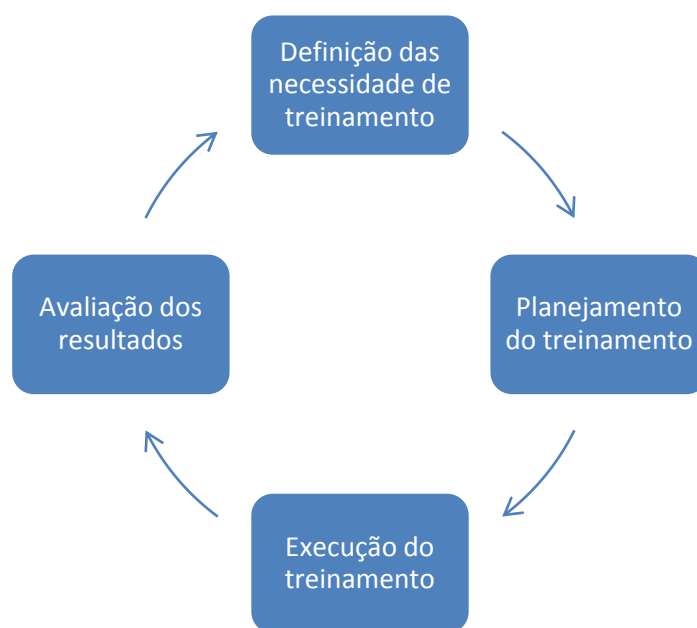


Figura 3-1 Ciclo de treinamento

O método consiste na descrição dos passos a serem seguidos para realizar a avaliação. Com objetivo de manter a consistência na terminologia, o método é apoiado por uma ontologia para avaliação do treinamento proposta neste trabalho e contém os termos utilizados em um treinamento na área de sistemas elétricos. Para avaliar devem ser seguidos os seguintes passos:

- 1) descrever o planejamento com os critérios que se deseja avaliar;
- 2) definir as ferramentas a serem utilizadas para avaliar;
- 3) executar o treinamento fazendo a coleta de dados;
- 4) processar dados a partir das ferramentas propostas;
- 5) analisar dados;
- 6) visualizar e discutir os resultados;
- 7) propor novos treinamentos, caso necessário.

Na Figura 3-2 é ilustrado o método de avaliação onde durante a sessão de treinamento são coletados os dados: registro das ações no simulador; vídeo com o registro das expressões faciais; questionários e, sinais de EEG capturados com a ferramenta EPOC (descrita mais adiante). Em seguida estes dados foram compilados com a ferramenta para avaliação do treinamento - FAT desenvolvida neste trabalho, resultando no diagnóstico da avaliação do treinando.

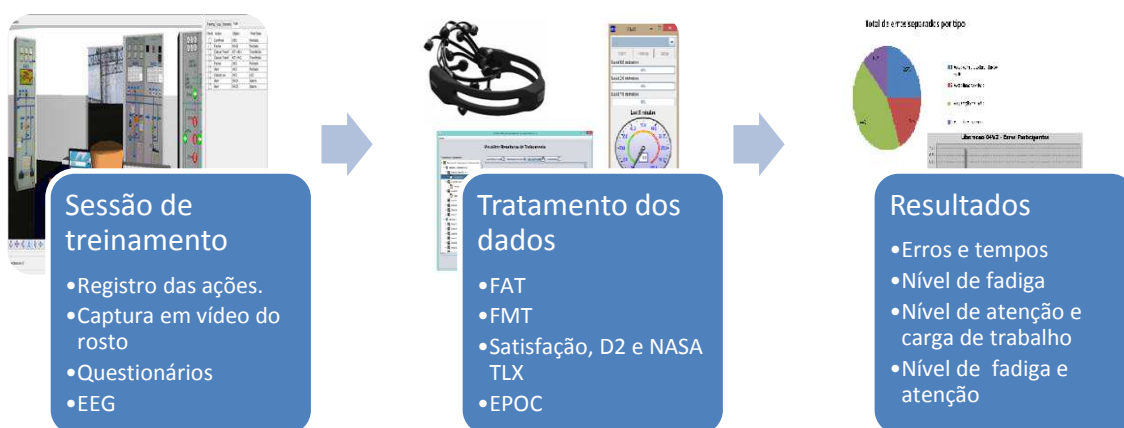


Figura 3-2 Método de avaliação

Uma boa avaliação é decorrente de um bom planejamento, para assegurar que este planejamento contenha as informações necessárias do que se deseja avaliar, a ferramenta de avaliação proposta contém um módulo de descrição. A descrição do planejamento deve conter o objetivo do treinamento, as tarefas a serem realizadas, a descrição do cenário e os critérios se deseja avaliar e como serão avaliados. Dentre os critérios serão avaliados

a execução da tarefa, os tempos gastos, o nível de cansaço e atenção, a experiência profissional e em treinamentos anteriores, fraseologia utilizada e uso dos normativos da empresa.

Após definir critérios devem ser escolhidas as ferramentas que serão utilizadas para coleta de dados, por exemplo, para a análise da tarefa é proposta a ferramenta de avaliação de treinamento proposta neste trabalho, então é executado o treinamento e posteriormente realizados o processamento e análise dos dados. A seguir são apresentados os recursos sugeridos para avaliação do treinamento, além da ontologia.

3.1.1 Ontologia

De acordo com Gruber (1999 apud Torres Filho e Vieira, 2012), "ontologia é definida como uma especificação explícita e formal de uma conceitualização compartilhada". A conceitualização consiste na definição dos conceitos de um domínio e dos relacionamentos entre eles. Ainda segundo o mesmo autor, os elementos básicos de uma ontologia são as classes (representadas de forma hierárquica); as relações (entre conceitos do domínio ontológico); os axiomas (as regras que regulam as associações entre as classes e relações) e, as instâncias (os elementos específicos do domínio).

Uma ontologia pode ser utilizada como uma taxonomia uma vez que contém o conjunto de termos utilizados em um domínio. Neste trabalho o domínio é o da avaliação de treinamento em sistemas elétricos. A construção de ontologias neste domínio objetivou a integração dos trabalhos de pesquisa do grupo e, desta forma apoiar o desenvolvimento da Ferramenta de Avaliação do Treinamento ao longo deste trabalho.

Através da ontologia é possível disponibilizar um vocabulário especializado para descrição de um dado domínio reduzindo erros conceituais e de terminologia durante a modelagem e o desenvolvimento de software. Uma ontologia também viabiliza a transferência e a aquisição de conhecimento por diferentes pessoas, tornando-se consenso para um grupo (Torres Filho e Vieira, 2012).

Na Figura 3-3 é apresentada a ontologia da avaliação do treinamento, a qual é composta por: avaliação; avaliação física; desempenho e histórico, entre outros conceitos. Na Figura também são ilustrados trechos da ontologia proposta por Torres Filho e Vieira (2012) para descrever a planta (sistema elétrico); um treinamento, um cenário de treinamento e uma sessão.



Figura 3-3 Estrutura da Ontologia da Avaliação de treinamento

Na Figura 3-4 podem-se observar os detalhes dos conceitos da ontologia **avaliação do treinamento**. Assim, uma avaliação pertence a uma sessão de treinamento e faz parte de um treinamento. Uma avaliação contém: tarefas prescritas; treinando (operador); avaliação física; desempenho estimado; observações; quantidade de erros; tipos de erros e, tempo da sessão.

A ontologia **avaliação do treinamento** complementa a ontologia **treinamento**, uma vez que esta última não contempla o detalhamento da avaliação. A partir da validação no grupo de pesquisa, os termos tornam-se consenso e são difundidos entre usuários.

	NECESSARY
● Ontologia_Avaliacao	E
□ (Avaliacao_De exactly 1) and (Avaliacao_De only Sessao_De_Treinamento)	E
□ (Avaliacao_De exactly 1) and (Avaliacao_De only Treinamento)	E
□ (tem_Prescrito some Prescrito) and (tem_Prescrito only Prescrito)	E
□ (tem_Treinando some Treinando) and (tem_Treinando only Treinando)	E
⊖ tem_Avaliacao_Fisica some Avaliacao_Fisica	E
⊖ tem_Desempenho_Estimado some Desempenho_Estimado	E
⊖ tem_Desempenho_Medio some Desempenho_Medio	E
⊖ tem_Desempenho_Na_Avaliacao some Desempenho_Na_Avaliacao	E
⊖ tem_Observacao_Durante_Treinamento some Observacao_Durante_Treinamento	E
⊖ tem_Quant_Erro some int	E
⊖ tem_Tempo_De_Cada_Acao some Tempo_De_Cada_Acao	E
⊖ tem_Tempo_Treinamento some int	E
⊖ tem_Tipo_Erro some string	E

Figura 3-4 Elementos que compõem a ontologia Avaliação.

3.2 Ferramenta para Avaliação do Treinamento (FAT)

A especificação desta ferramenta se fundamentou: na literatura pesquisada; em normativos do setor elétrico e, na observação de treinamentos realizados com operadores no ambiente de trabalho, em uma empresa do setor.

O domínio do treinamento abordado neste trabalho concerne o uso de simuladores capazes de reproduzir a operação de uma instalação (subestação) do sistema elétrico através de sistemas supervisórios instalados em salas de comando. Embora os conceitos aqui desenvolvidos possam ser igualmente aplicados em outros setores da operação de um sistema elétrico, tais como centros de operação.

A ferramenta FAT foi desenvolvida para auxiliar o tutor na avaliação do desempenho dos operadores de sistemas elétricos na execução de suas tarefas durante treinamentos. Esta ferramenta oferece recursos para visualizar o histórico da tarefa desempenhada por um operador em treinamento e confrontá-lo com a descrição da tarefa originalmente prescrita, emitindo um diagnóstico. FAT oferece recursos para analisar o rendimento dos operadores, verificando se os procedimentos realizados estão de acordo com o conjunto de requisitos pré-estabelecidos para o treinamento e, gerando dados que podem ser úteis na proposição de novos treinamentos.

Segundo Embrey (2010), a análise da tarefa é fundamental na análise do erro humano, com o propósito de eliminá-lo. Neste trabalho a descrição da tarefa será utilizada

com o propósito de validar as ações de um treinando, a partir da análise do histórico das ações executadas pelo operador, durante um treinamento, e a comparação com a atividade prescrita, ambas descritas no mesmo formato, o qual será apresentado mais adiante. A análise investiga as metas alcançadas; as estratégias adotadas e parâmetros temporais tais como o tempo de execução da tarefa face ao previsto, a pertinência do tempo de intervenção e a duração de cada ação. As discrepâncias entre a tarefa prescrita e a tarefa realizada são interpretadas como erros, os quais são classificados de acordo com uma tipologia oriunda do estudo do erro humano no âmbito da operação de sistemas elétricos (Guererro et al, 2008). O diagnóstico resultante da análise é apresentado ao tutor de acordo com uma configuração escolhida para o formato e nível de detalhamento.

3.2.1 Requisitos funcionais

Para desenvolver a ferramenta foram levantados os requisitos funcionais listados a seguir:

- Controlar o acesso através da autenticação de um usuário com *login* e senha;
- Permitir selecionar e consultar históricos de treinamentos armazenados em um banco de dados;
- Permitir configurar critérios de avaliação;
- Oferecer uma interface com múltiplos níveis de detalhamento;
- Permitir a visualização:
 - para o tutor:
 - sequência de ações executadas e sequência prescrita;
 - resultados por operador, por subestação, setor, região:
 - percentuais de acertos e erros;
 - percentual de cada tipo de erro dentre os erros cometidos;
 - percentual de cada tipo de acerto dentre os acertos totais;
 - média de erros e acertos para cada cenário de treinamento;
 - relatórios com resultados de uma análise estatística;
 - para o operador:
 - histórico de treinamentos;
 - rendimento geral e por treinamento;
- possibilitar ao tutor complementar a avaliação, inserindo observações e propondo novos treinamentos;

- oferecer suporte à edição das atividades do treinamento (tarefa prescrita). Os tutores devem ser capazes de descrever a sequência de ações (passos) que deve ser seguida pelo operador durante a execução de um cenário.
- realizar buscas no BD: avaliações realizadas por período; por operador; por cenários e por treinamentos mais frequentemente executados.

3.2.2 Requisitos não funcionais

- deve ser possível acoplar a FAT a qualquer ambiente de simulação, desde que este ambiente disponibilize o acesso ao registro das ações efetuadas pelos operadores (histórico das ações), em um banco de dados;
- a linguagem de consulta ao banco de dados do simulador deve ser SQL (*Structured Query Language*);
- deve possibilitar a visualização de informações nos formatos gráfico e tabular;
- deve possibilitar a avaliação automática dos operadores.

3.2.3 Arquitetura da FAT

A arquitetura da FAT consiste de cinco módulos, além do BD, os quais estão ilustrados na Figura 3-5. A ferramenta foi desenvolvida na linguagem de programação Java (2012), utilizando o pacote JDK (*Java Development Kit*) 1.7.0_11.

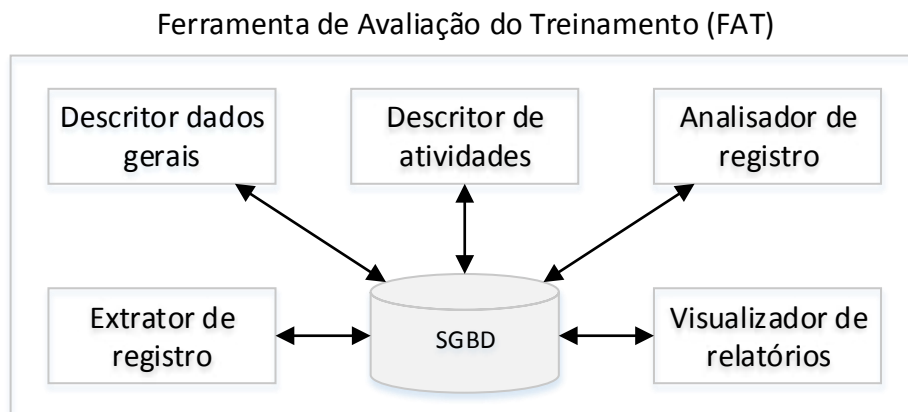


Figura 3-5 Arquitetura dos módulos da ferramenta proposta

3.2.4 Banco de dados da FMT

Para satisfazer os requisitos funcionais da FAT foi necessário construir um Banco de Dados (BD). Este BD foi construído com base na estrutura de treinamento proposta nesta pesquisa (Silva Netto, 2012), e fundamentado nos conceitos que fazem parte da Ontologia **avaliação do treinamento**. Nele são armazenados dados sobre o planejamento

de treinamentos (local, data, tipo de treinamento, objetivo do treinamento, participantes); cenários de treinamento; histórico de sessões de treinamento; e resultados das avaliações realizadas.

O banco de dados foi desenvolvido utilizando o Sistema Gerenciador de Banco Dados⁵ (SGBD): SQL Server 2008 da Microsoft®, que está disponível gratuitamente para fins educacionais. A comunicação com o BD utiliza a biblioteca JDBC (*Java Database Connectivity*).

Nas Figura 3-6 e Figura 3-7 são ilustrados trechos do diagrama ER os quais correspondem a porções do modelo concebido para o banco de dados da FAT. Nas figuras são as ilustradas as tabelas relativas à avaliação relacionada a um cenário de treinamento.

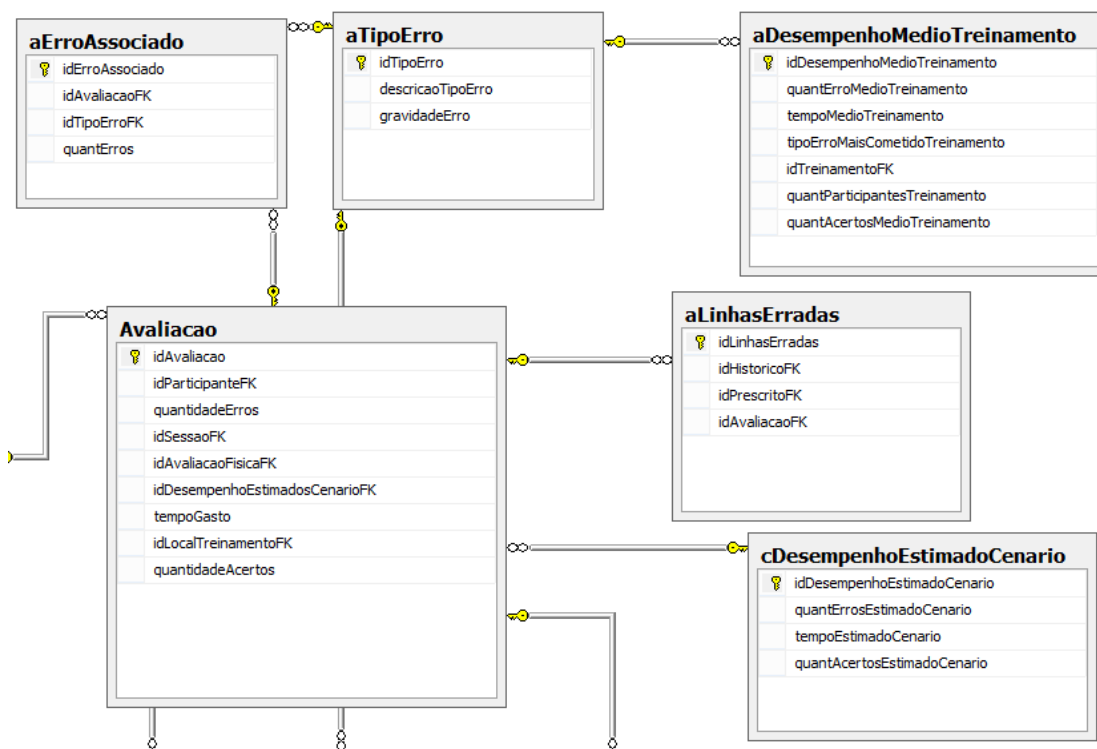


Figura 3-6 Diagrama E-R do BD destacando as tabelas relativas à avaliação

⁵ Conjunto de programas que tratam da manipulação dos dados armazenado em um BD.

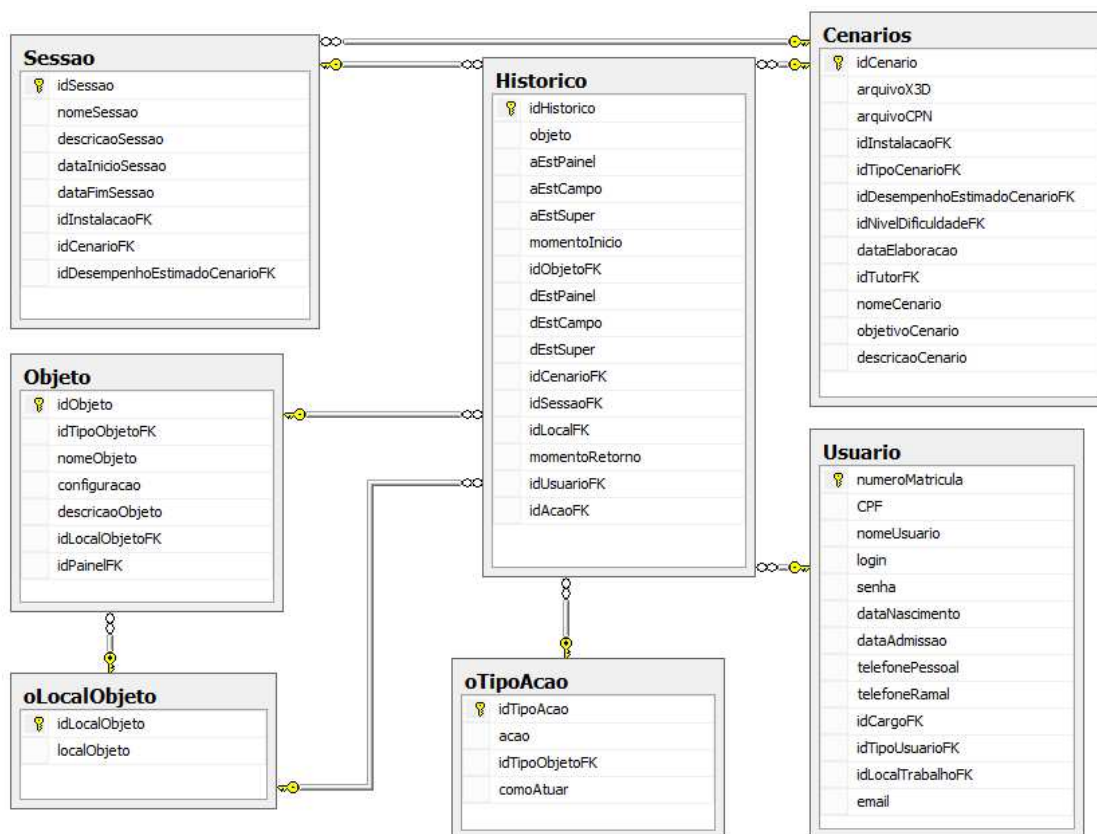


Figura 3-7 Diagrama ER do BD destacando as tabelas: cenário, sessões e ações

No Apêndice A, são apresentados os demais diagramas ER que compõem o banco de dados da FAT.

3.2.5 Descrição funcional

Para que uma avaliação seja possível é necessário importar o arquivo (*log*) contendo o histórico de uma ou mais sessões de treinamento. Este arquivo contendo o histórico deve ser importado do BD do simulador que foi utilizado durante um treinamento. Uma vez o BD povoado com os dados do histórico, o tutor pode selecionar um treinamento ou sessões de treinamento para avaliação pela FMT. Uma vez avaliado o treinamento, os dados resultantes são armazenados no BD da FMT para visualização e emissão de relatórios.

Na Figura 3-8 é apresentado o diagrama de sequência de mensagem que ilustra os passos a serem realizados pelo tutor durante uma avaliação com a FMT, desde a coleta de dados até a visualização dos resultados.

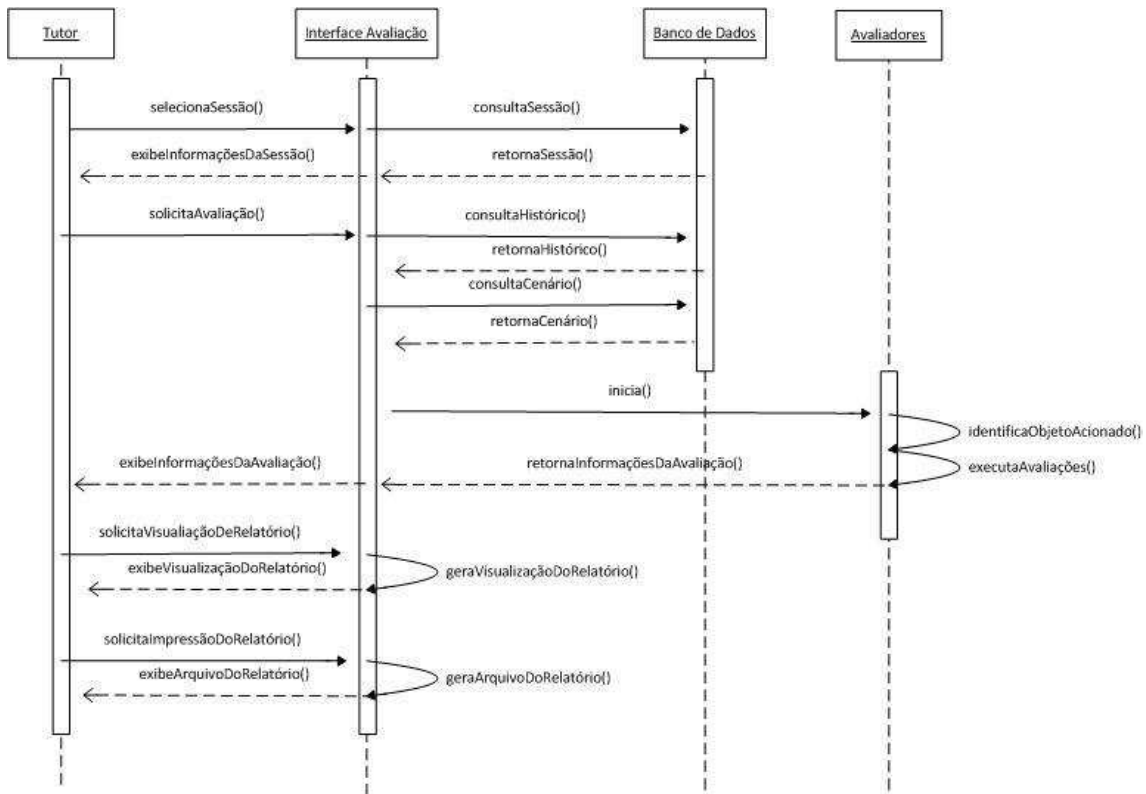


Figura 3-8 Diagrama de seqüência de mensagem de uma avaliação

Na Figura 3-9 é apresentado um diagrama de caso de uso da ferramenta no qual são descritas as funcionalidades de consulta às avaliações realizadas. Na FAT um tutor pode configurar a avaliação de um treinamento, capturar o arquivo de *log* armazenado no BD de um simulador; processar a avaliação e visualizar os resultados: por treinamento; por sessão e por operador; podendo ainda comparar resultados de um operador com o desempenho médio do grupo e com uma meta pré-estabelecida. Finalmente pode visualizar níveis de cansaço e de atenção.

Por outro lado, o operador pode utilizar a FAT para: visualizar seu rendimento em um treinamento; comparar com o rendimento de treinamentos anteriores; comparar com a meta de um treinamento específico e com a média do grupo com o qual foi treinado, e por fim, visualizar seu nível de atenção e de cansaço avaliado durante o treinamento.

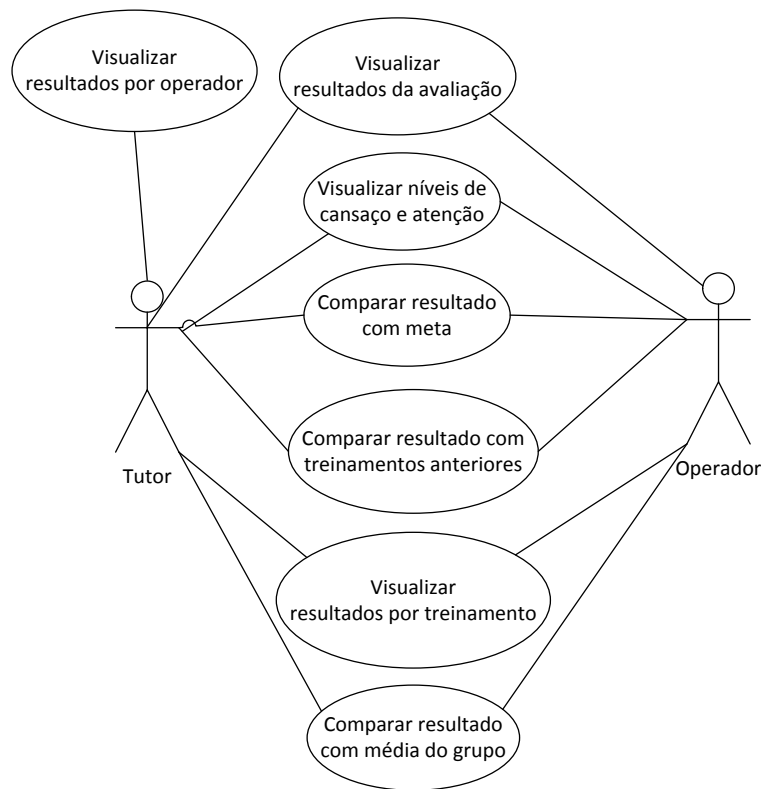


Figura 3-9 Diagrama de casos de uso do módulo de visualização da FAT

Na Figura 3-10 é ilustrado o diagrama de classes contendo os principais métodos e atributos das classes utilizados para elaborar a ferramenta.

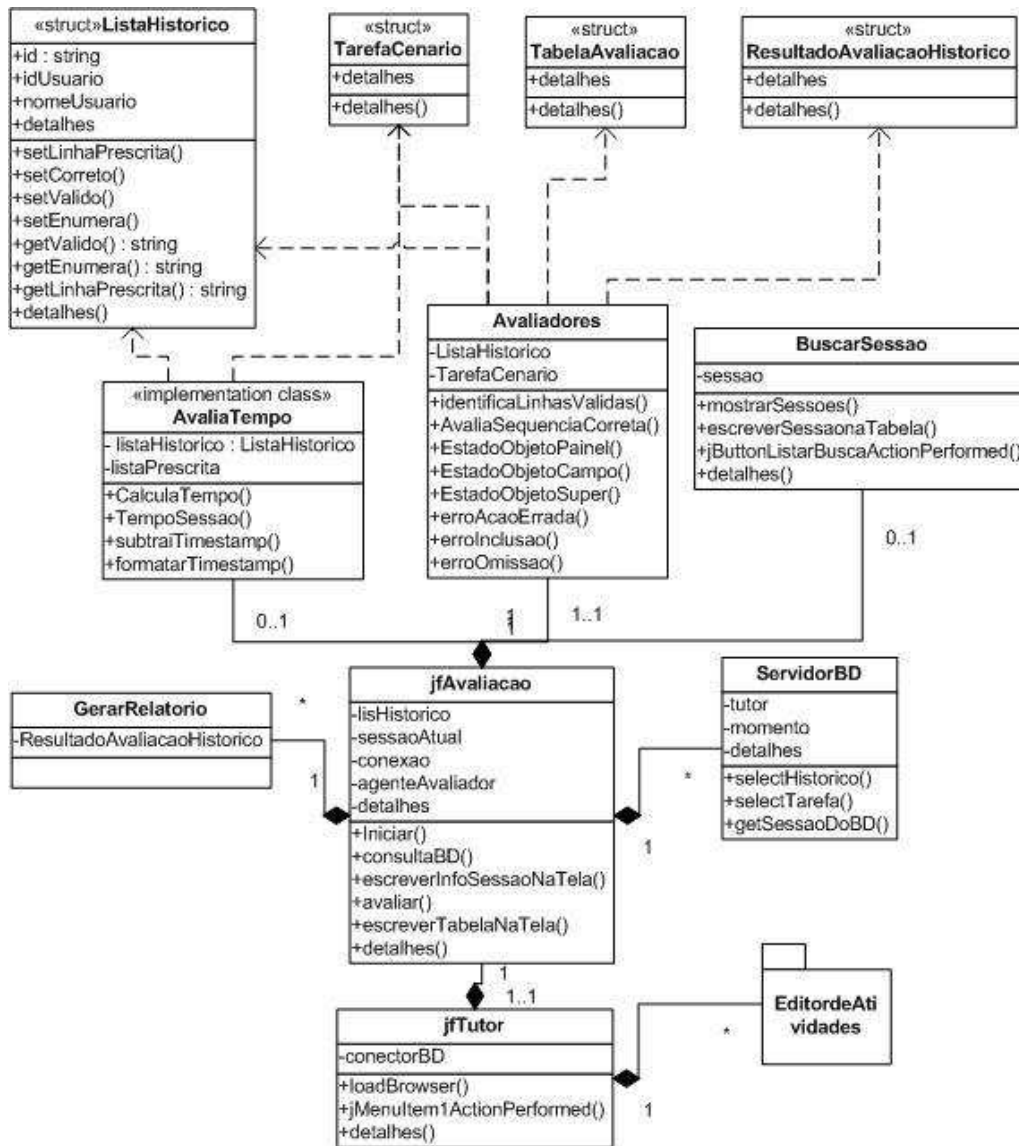


Figura 3-10 Diagrama de Classe do módulo de avaliação

Para entender um pouco melhor as ações que podem ser executadas pelos usuários e a troca de mensagens entre os objetos (tutor, interface, banco de dados e avaliadores) é ilustrado na Figura 3-10 o diagrama de sequência de mensagens para uma avaliação.

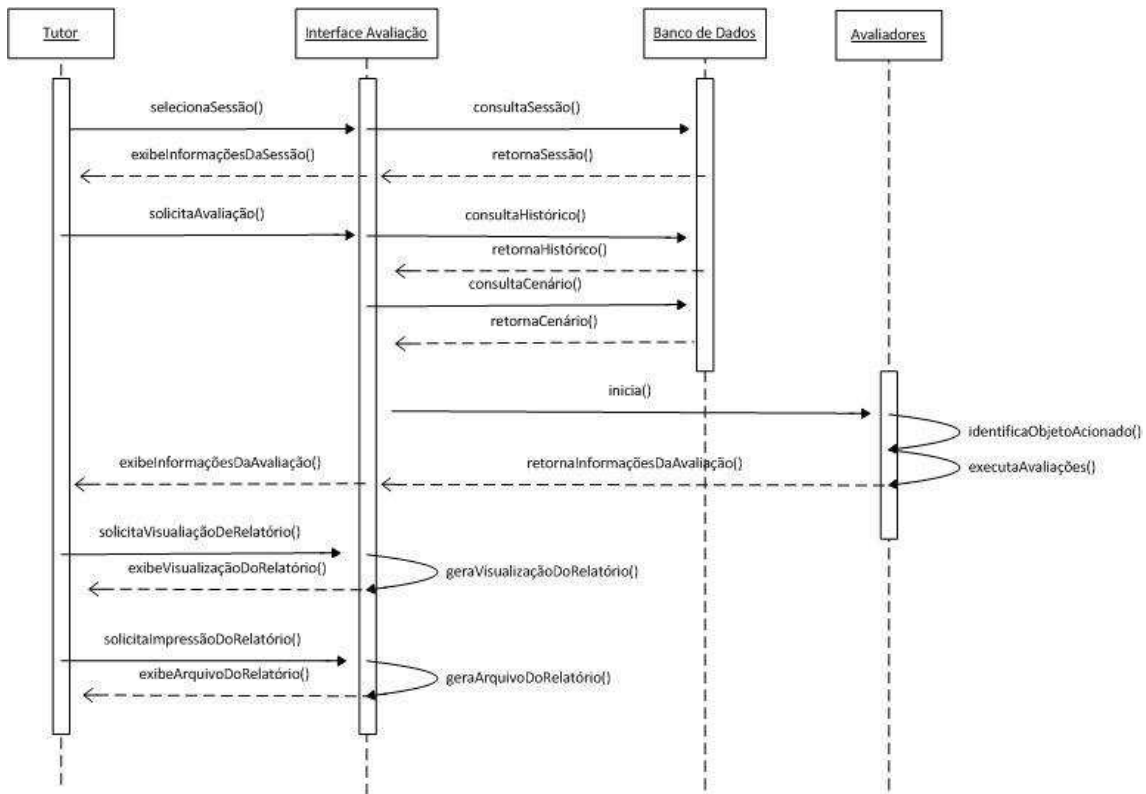


Figura 3-11 Diagrama de sequência de mensagem para uma avaliação

A seguir são detalhados os módulos que compõem a arquitetura da ferramenta de avaliação de treinamento (FAT), os quais podem ser utilizados de forma conjunta ou de forma independente.

3.2.5.1 Módulo extrator de registro

FAT foi desenvolvida para ser integrada com simuladores e software supervisórios, utilizados no treinamento de operadores. A integração esse dá a partir da comunicação entre BDs. A tabela no BD utilizada na comunicação possui as seguintes informações armazenadas: nome do equipamento atuado; estado antes e depois da atuação; instante no tempo (*time stamp*) da atuação e, ação realizada. A integração consiste em explicitar no processo de importação dos dados, a partir do conhecimento da estrutura dos dados do histórico armazenados no simulador ou supervisório. O fluxo dos dados do módulo de extração é explicitado na Figura 3-12.

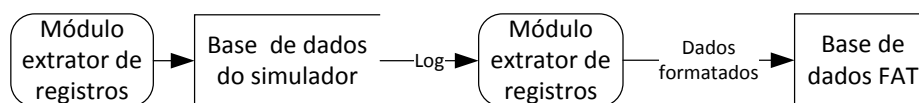


Figura 3-12 Fluxo de dados do módulo extrator

O módulo extrator de registro é conectado à base de dados contendo o histórico para que seja extraído o histórico das ações e armazenado no BD da FAT. Este módulo deve ser configurado para se conectar a cada simulador ou supervisor, devido às características específicas das estruturas de dados correspondentes.

3.2.5.2 Módulo descritor de dados

O módulo descritor de dados permite a configuração do planejamento do treinamento. Através de sua interface, ilustrada na Figura 3-13, o tutor pode configurar o planejamento do treinamento, exceto a descrição da tarefa prescrita que é feita em outro módulo. A configuração de um treinamento consiste na entrada dos dados: título, descrição, objetivo, duração, nível de dificuldade e temática do treinamento.

Figura 3-13 Tela para inserção dos dados do planejamento

O passo seguinte consiste em informar o calendário do treinamento (ver Figura 3-14), ou seja, a periodicidade do treinamento, validade do treinamento realizado, data limite para finalizar a elaboração (quando vários tutores compartilham o planejamento) e a data final de elaboração. Na Figura 3-15 são ilustradas as interfaces (telas) disponibilizadas para a criação de um cenário (a) e de uma sessão (b). Ressaltando que

um treinamento pode ser composto por mais de um cenário e sua execução ocorre em uma ou mais sessões.

Figura 3-14 Tela para inserção das datas do planejamento

Figura 3-15 Telas de criação de cenário e de sessão

3.2.5.3 Módulo editor de atividades

Este módulo oferece recursos para que o tutor descreva as atividades que deverão ser realizadas durante um treinamento. Estas atividades, ou tarefas, são compostas de sequências de ações, que juntas constituem a tarefa prescrita.

Exemplos de atividades são: abrir disjuntor; comunicar-se com o centro de operações; etc. No editor de atividades o tutor pode: criar, alterar, copiar e excluir ações. As informações sobre as atividades são armazenadas no banco de dados (BD) da ferramenta. Na Figura 3-16 é apresentado o diagrama de sequência das mensagens do módulo descritor de atividades.

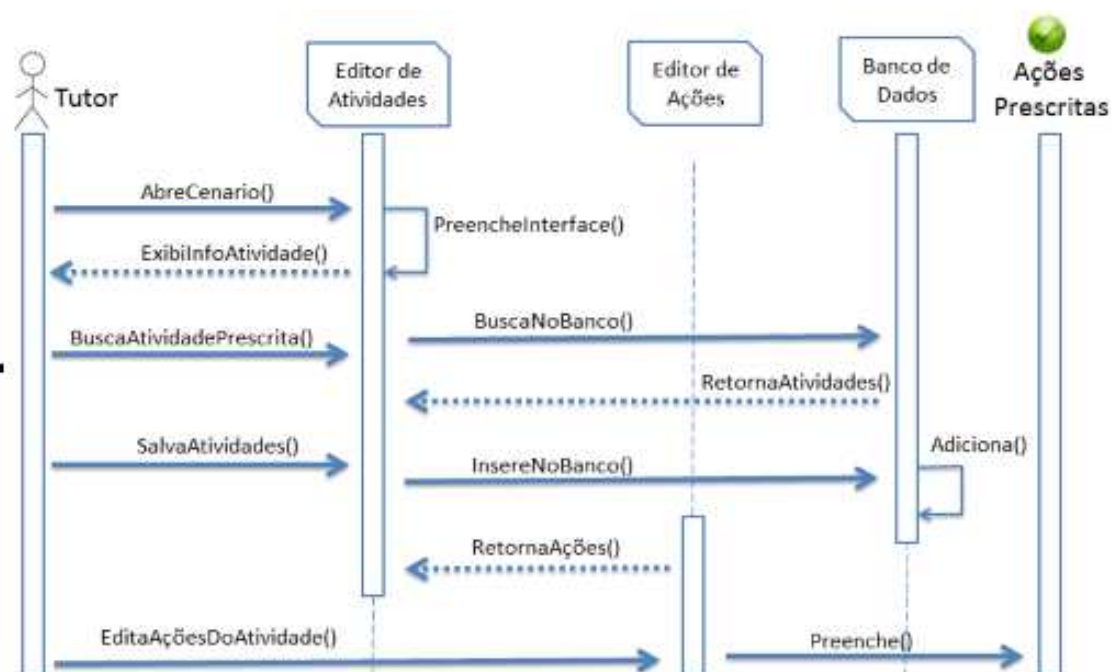


Figura 3-16 Diagrama de sequência de mensagens do Módulo Editor de Atividades

Para facilitar o trabalho de edição das atividades e evitar erros na elaboração da lista de atividades, a interface da ferramenta apresenta listas de opções com os tipos de dados registrados no BD para o sistema no qual o operador será treinado. Estes dados

correspondem os objetos típicos apresentados na interface do sistema (supervisório ou simulador) que representa o ambiente de trabalho.

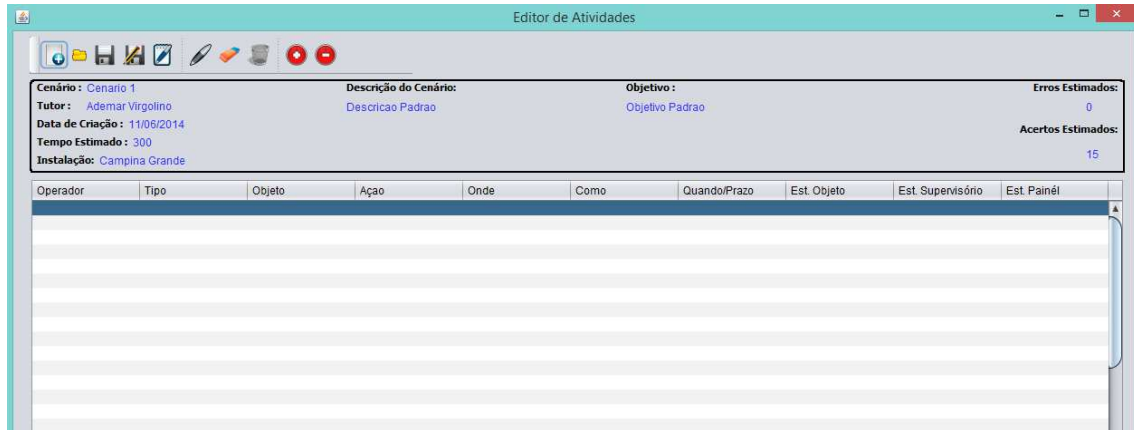


Figura 3-17 Tela principal do Módulo Editor de Atividades

O editor disponível neste módulo permite que o tutor especifique os parâmetros relacionados a uma ação, conforme listado a seguir e, ilustrado na Figura 3-18:

- 1) O responsável pela execução da tarefa (observar que o treinamento pode ser realizado por pares de operadores).
- 2) O tipo de objeto a ser operado ou manobrado;
- 3) O identificador do objeto na instalação na qual ocorrerá o treinamento;
- 4) A ação que deve ser realizada;
- 5) O nível de atuação no qual o operador deve atuar, painel, supervisório ou no campo;
- 6) Como deve ser realizada a ação;
- 7) A duração da ação;
- 8) O estado final do objeto, após a atuação. O editor permite que o estado final do objeto possa divergir (discordar) entre o simulador, o supervisório e o estado no campo; em função de onde a ação tenha sido realizada.

Editor de Informações da Tarefa

Quem Atua
1 Flavio Fabricio ✓

Tipo Objeto
2 Disjuntor ✓

Nome Objeto
3 DJ14C3 ✓

Ação
4 Abrir ✓

Onde
5 painel ✓

Como
6 Clique ✓

Horas Minutos Segundos
7 00 00 10 ✓

8 Est. Painel
Aberto ✓ Replicar

Est. Supervisorio
Aberto ✓ Desabilitar

Est. Objeto em Campo
Aberto ✓ Desabilitar

OK

Figura 3-18 Tela descrição das tarefas no Módulo Editor de Atividades

3.2.6 Módulo analisador de registro

Através deste módulo realiza-se a análise da tarefa. O módulo compara a tarefa prescrita com a realizada e identifica e classifica os erros cometidos, de acordo com a tipologia do erro.

Na Figura 3-19 é ilustrado o fluxo da interação seguido ao utilizar este módulo. Inicialmente o tutor deve selecionar o treinamento ou sessão que deseja avaliar. Uma vez concluída a análise realizada pela ferramenta, os erros identificados e classificados e os tempos alcançados, o resultado é armazenado no banco de dados e fica disponível para visualização.

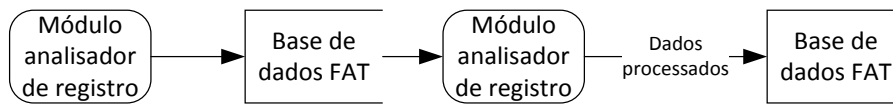


Figura 3-19 Fluxo de dados do módulo analisador de registro

Foram concebidos algoritmos para identificação de cada tipo de erro.

Para o caso específico do **erro de omissão** da ação, o algoritmo correspondente está representado no fluxograma apresentado na

Figura 3-20. Inicialmente são criadas duas listas uma com o histórico das ações e outra com o prescrito, cada objeto é lido na lista prescrita e buscado no histórico, caso contenha é indicado no histórico qual o prescrito caso contrário é adicionado o prescrito não realizado na lista de omissos.

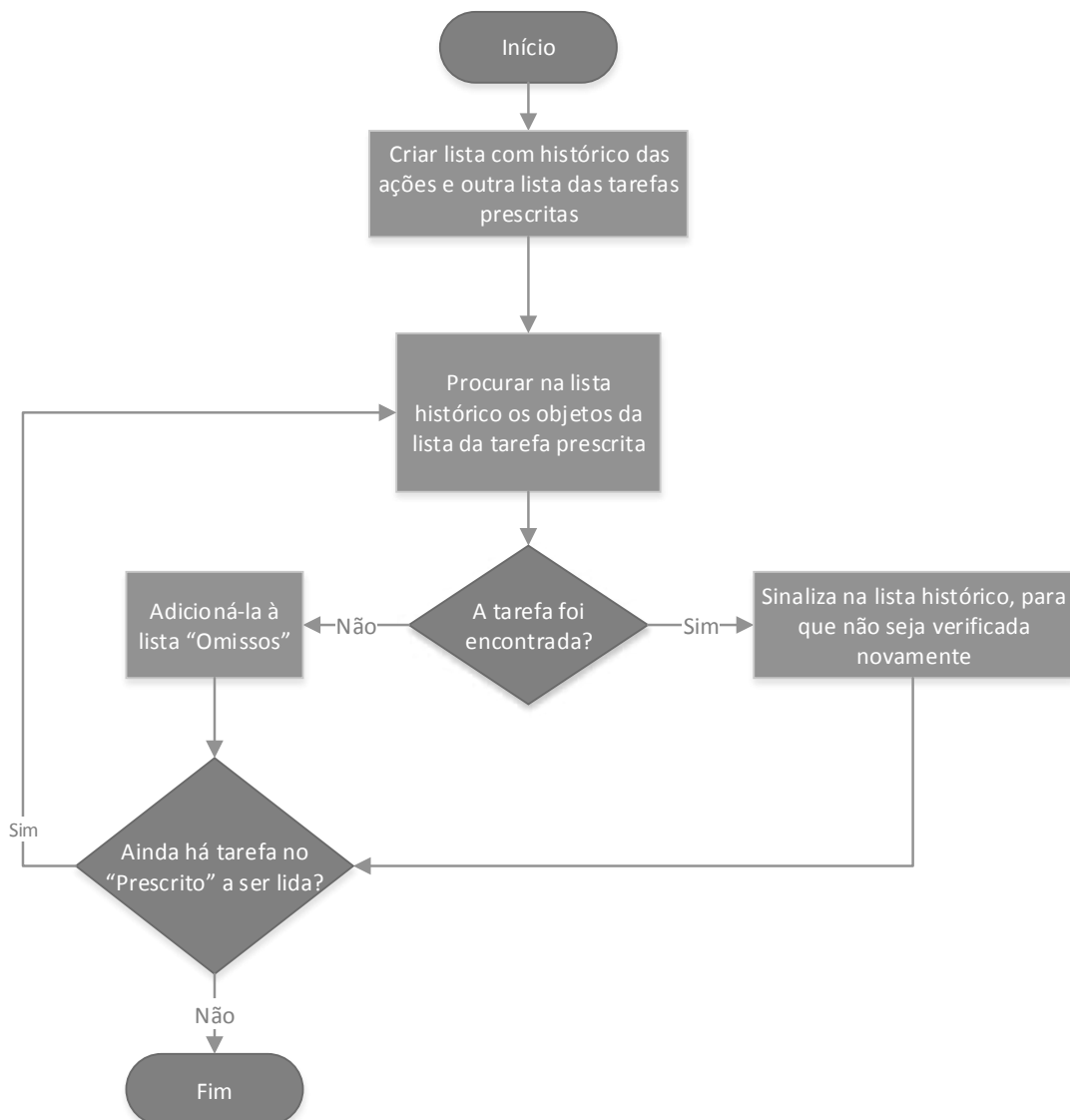


Figura 3-20 Algoritmo para identificação do erro de omissão

Segue, no Quadro 3-1, o trecho de código correspondente à lógica representada no fluxograma da Figura 3-20. Nele, a lista do histórico é pesquisada de forma comparativa com a lista das ações prescritas. Caso uma ação não seja localizada, esta é armazenada em uma lista de ações omissas.

```
Omissos_aux = Historico_aux;
int k;
flag = true;
for(int a = 0; a < listaPrescrita.size(); a++){
    for(k = 1; k < Omissos_aux.size()-1; k++){

if(!(Historico_aux.get(k).getNomeObjeto().equals(listaPrescrita.
get(a).getObjetoSelecioneado()) && Historico_aux.get(k).getAcao().
equals(listaPrescrita.get(a).getAcaoSelecioneada()))
        flag = true;
    else {
        flag = false;
        Omissos_aux.remove(Omissos_aux.get(k));
        break;
    }
}
if(flag){
    Omissos.add(listaPrescrita.get(a));
}
}
```

Quadro 3-1 Trecho de código para identificar erro de omissão

Na Figura 3-21 é ilustrado o fluxograma que representa o algoritmo concebido para identificar **ações inapropriadas**. O algoritmo compara os tipos dos objetos constantes da lista de ações realizadas no arquivo do histórico com a lista de ações prescrita. Caso um determinado tipo de ação não tenha sido prescrito, esta é considerada uma ação inapropriada. Há apenas uma exceção, que ocorre quando o usuário realizou uma ação inapropriada, percebeu o erro e corrigiu em seguida. Nesse caso, o algoritmo classifica a primeira ação como inapropriada e a segunda como uma correção.

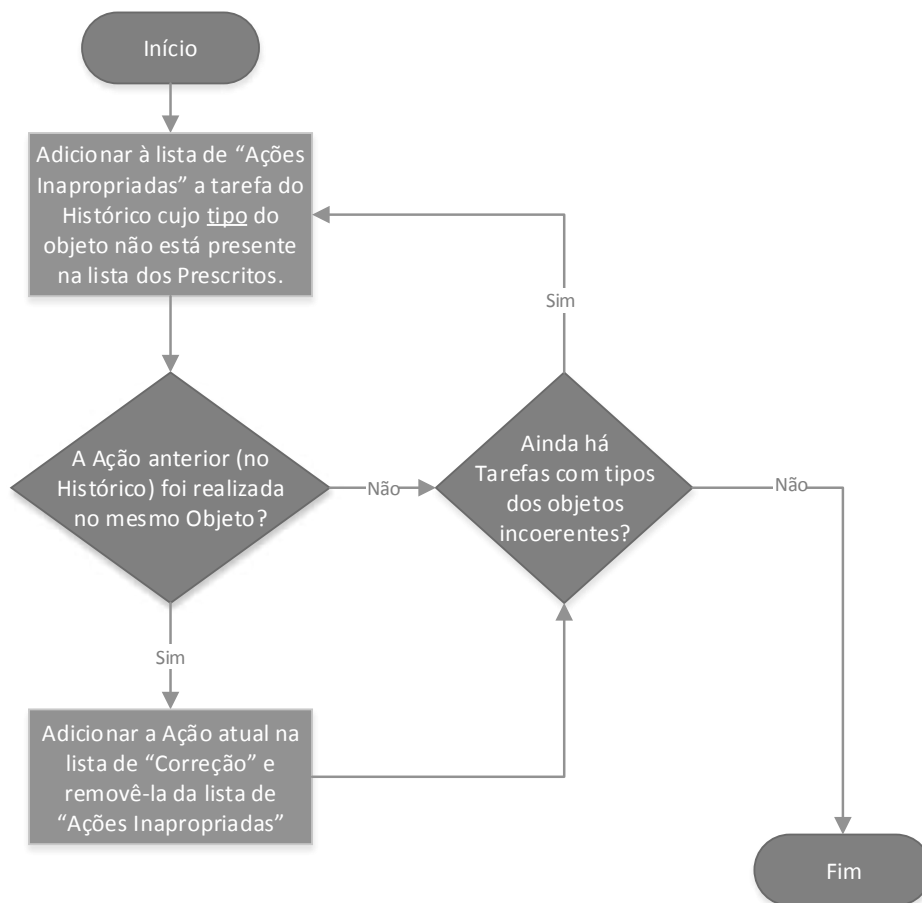


Figura 3-21 Fluxograma para identificar o erro "ação inapropriada"

Na Figura 3-22 é ilustrado o fluxograma que representa o algoritmo implementado para identificar o tipo de erro: **ação correta sobre objeto errado**. Neste caso, são localizadas no histórico as ações previstas, as quais são comparadas com as ações realizadas. Se o objeto é o objeto alvo da ação (correto) e se é for do mesmo tipo ou; se a ação estiver correta e se o objeto estiver errado então a ação é categorizada como um erro do tipo "ação correta sobre objeto errado".

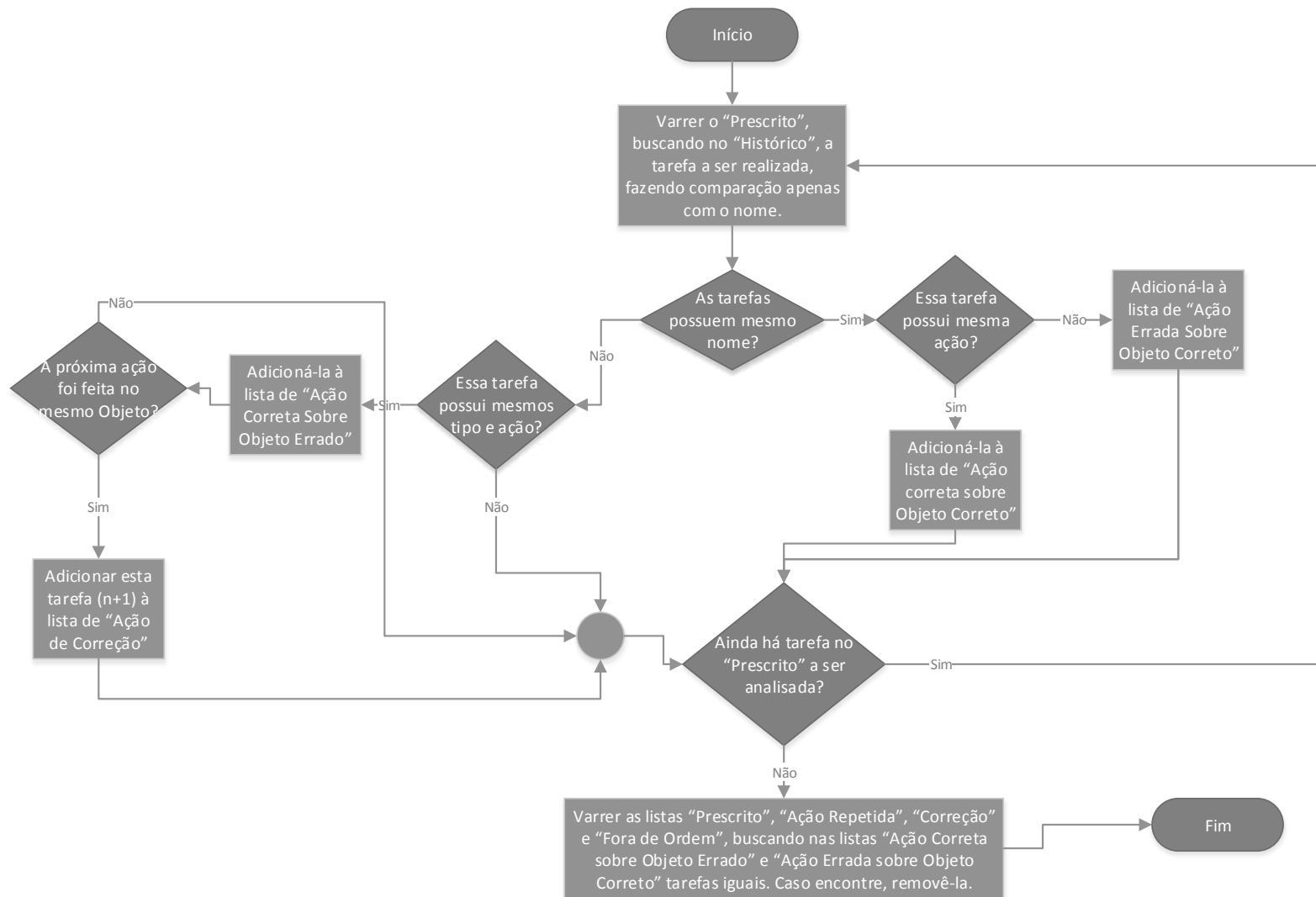


Figura 3-22 Fluxograma para identificar o erro "ação correta sobre objeto errado"

3.2.7 Módulo Visualizador de resultados

Neste módulo são implementadas as funcionalidades da interface para visualização dos resultados da avaliação. Os recursos oferecidos permitem a visualização e impressão dos relatórios de análise dos treinamentos, com a possibilidade de geração de gráficos e tabelas. Na Figura 3-23 é ilustrado o fluxo da interação com este módulo, no qual é acessada a base de dados, extraídos os resultados e apresentado na interface.

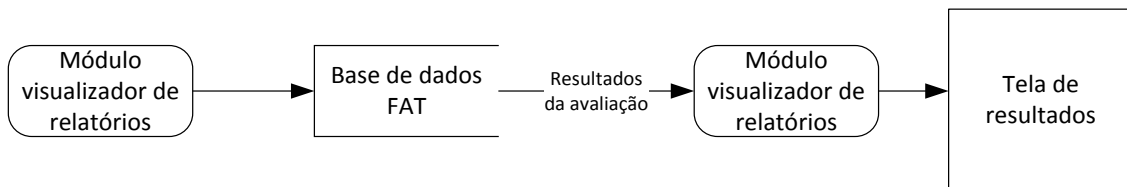


Figura 3-23 Fluxo de dados do módulo de visualização

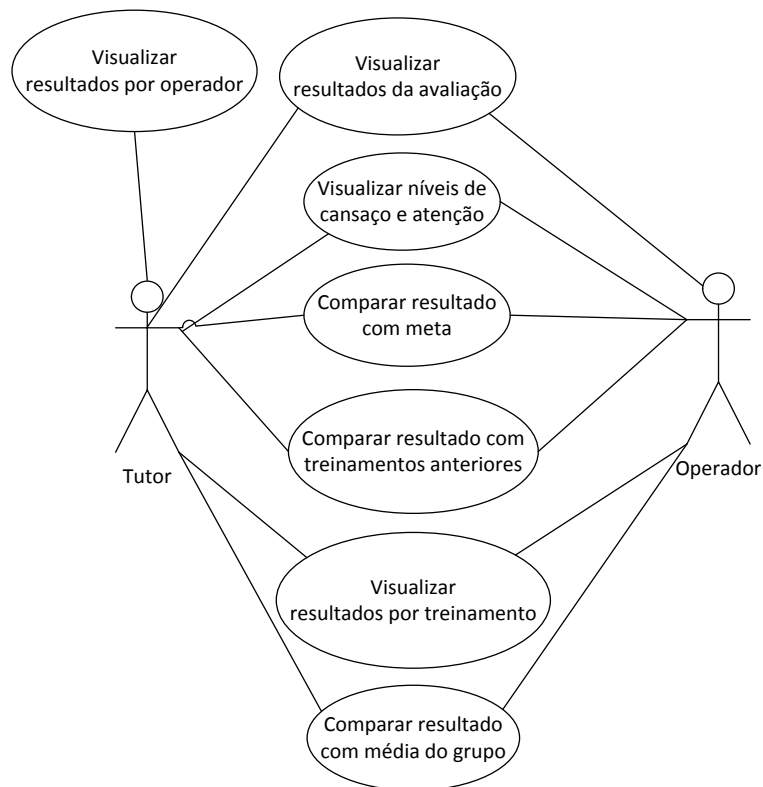


Figura 3-24 Diagrama de casos de uso do módulo de visualização

Os resultados são agrupados por acertos e erros, individuais e em relação ao grupo, tempos de execução e descrição das ações executadas e prescritas e, identificação de erros. Na Figura 3-25 é ilustrada a tela para seleção dos treinamentos.

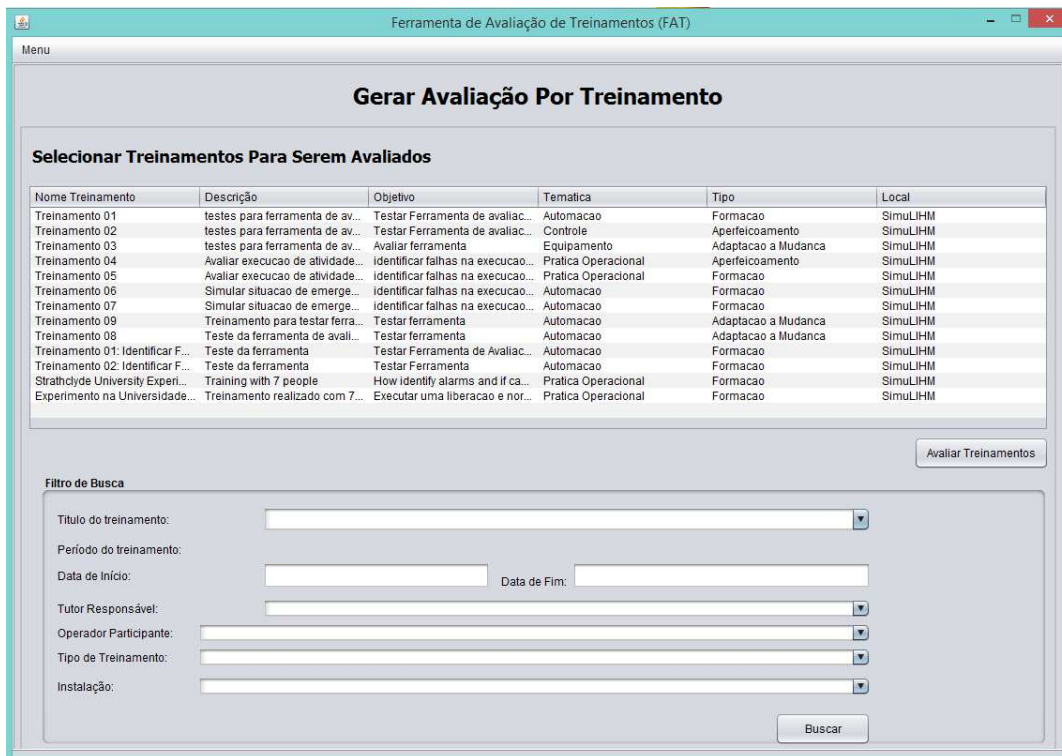


Figura 3-25 Tela de busca de um treinamento

Na Figura 3-26 é apresentada a tela com os resultados: dados do treinamento, cenário, sessão e participantes dos treinamentos que foram selecionados.



Figura 3-26 Tela de visualização dos participantes de um treinamento

Além disto, os resultados podem ser visualizados tanto em gráficos quanto em tabelas. A visualização tabular exibe o registro histórico com a sequência de ações realizadas pelo operador (Figura 3-27). Na tabela constam também os erros cometidos, que são destacados utilizando cores, de acordo com o tipo de erro identificado. A tabela é acompanhada da legenda de cores, como ilustrado na figura. A ferramenta permite visualizar a sequência de ações originalmente prescrita para uma análise mais detalhada pelo tutor.



Figura 3-27 – Tela de visualização dos detalhes dos resultados por tarefa

Os resultados em gráficos serão exemplificados no próximo capítulo.

3.3 Análise da fadiga do operador

Neste trabalho fadiga e cansaço são usados como sinônimos. Considera-se que a fadiga é resultante do trabalho intenso ou contínuo (Michaelis, 2014) e, que influencia o seu resultado provocando perda de eficiência e aumentando o desinteresse na execução da tarefa. Para estudar a fadiga foram analisadas duas vertentes: ferramentas utilizadas na detecção da fadiga, com foco na análise de expressões faciais durante o trabalho e através de sinais cerebrais coletados com ferramentas de EEG.

O objetivo da investigação do nível de cansaço durante um treinamento, é avaliar sua influência sobre a qualidade da tarefa dos operadores de subestações. Neste caso investigam-se o cansaço físico e cognitivo, complementando estudos que já avaliaram a influencia do cansaço físico, a exemplo do estudo apresentado em (Oliveira, 2008).

Quando se trata da análise do cansaço com base na análise de expressões faciais, são analisadas características tais como: a frequência de piscagem dos olhos, a resposta da pupila; a proporção de tempo, durante a execução da tarefa, durante a qual os olhos estiveram fechados (PERCLOS); os movimentos dos olhos e das sobrancelhas; o

movimento da boca para detecção de bocejo. Dentre os parâmetros citados, aquele aceito com mais confiável é o PERCLOS (Sommer e Golz, 2010), calculado como a razão entre o número de amostras com os olhos fechados em relação ao número total de amostras. Considera-se como um índice normal um PERCLOS em torno de 2%. Para que o olho seja considerado fechado, a pálpebra tem que cobrir mais de 80% do olho.

Na análise do nível de atenção é avaliada a rotação da cabeça, que corresponde a olhar para o lado e, a taxa de fechamento do olho (CLOSNO – frequência que com que o indivíduo pisca). Uma taxa normal é de aproximadamente 13 vezes por minuto. Números acima deste valor indicam distração (Sigari et al, 2013).

Neste trabalho foram empregadas duas ferramentas: FaceReader, adotada no PEOI e, FMT (*Fatigue Monitoring Tool*), desenvolvida na Universidade de Strathclyde (UoS), Escócia; onde autor realizou o doutorado sanduiche.

3.3.1 FaceReader

FaceReader™ 5 é uma ferramenta para análise de expressões faciais. Seu propósito é inferir as emoções dos indivíduos observados a partir da análise de vídeo. O software analisa o vídeo, em tempo real, a partir da coleta de parâmetros específicos e salva os resultados em uma tabela com o respectivo *timelog*. Esta ferramenta foi desenvolvida pela *empresa Noldus Information and Technology*.

O FaceReader identifica as expressões: alegria, tristeza, raiva, surpresa, medo, desagrado e neutra. Além da identificação das emoções o software oferece as informações utilizadas na identificação das emoções:

- Estado facial: quando olhos e boca estão abertos ou fechados e, quando as sobrancelhas estão levantadas, normais ou abaixadas;
- O rastreamento da orientação da cabeça, representado em coordenadas cartesianas (X, Y e Z) relativas a um modelo 3D da face;
- Calcula a direção do olhar a partir da posição da pupila em relação ao canto do olho e à orientação da cabeça;
- Pode extrair características do indivíduo a partir da imagem tais como: gênero, idade, etnia e se a pessoa usa barba, óculos ou bigode.

O FaceReader classifica as expressões faciais a partir de imagens obtidas com uma Webcam, de arquivos de vídeo ou de arquivos de imagens. Uma descrição sucinta de seu funcionamento é apresentada a seguir.

- O primeiro passo consiste em reconhecer a expressão facial, detectando a face na imagem. Para isto utiliza o algoritmo de Viola e Jones (2004) que detecta a presença da face.
- O passo seguinte consiste em modelar a face, utilizando um algoritmo baseado em Cootes et al (2001), que implementa o método “*Active Appearance*”. Um modelo é treinado a partir de uma base de dados de imagem que descreve mais de 500 pontos chaves na face além da análise da textura facial. O ponto chave inclui: (A) os pontos dentro da face (a parte da face que o FaceReader analisa); (B) os pontos na face que não são facilmente reconhecidos (lábios, sobrancelhas, nariz e olhos). A textura também é importante, pois dá informações extras sobre o estado da face. Os pontos chaves apenas descrevem a posição global e a forma do rosto, mas não dão informações sobre a presença de rugas sobre o formato das sobrancelhas. Essas informações são igualmente importantes para a classificação da expressão facial.
- A atual classificação das expressões faciais é feita a partir do treinamento de uma rede neural artificial. Para fazer este treinamento foram utilizadas mais de 10.000 imagens.

Esta foi uma das duas ferramentas utilizadas na detecção do estado de fadiga dos participantes do experimento neste trabalho.

3.3.2 FMT – *Fatigue Monitoring Tool*

A segunda ferramenta utilizada na detecção do estado de fadiga foi a *Fatigue Monitoring Tool* (FMT). A funcionalidade básica desta ferramenta é analisar um vídeo ou quadros de imagens e apresentar como resultado o nível de fadiga apresentado pelo indivíduo observado. Assim como o FaceReader, esta ferramenta foi utilizada para avaliar o nível de fadiga dos participantes do experimento durante o qual foram realizadas tarefas durante um treinamento. Os níveis de fadiga identificados são agrupados de forma temporal, representando o cansaço acumulado ao longo do tempo.

O uso desta ferramenta foi motivado por sua disponibilidade durante o período do doutorado sanduiche na Universidade de Strathclyde (UoS), onde foi desenvolvida. A possibilidade de investigar o efeito da fadiga sobre os resultados dos treinados se mostrou instigante para esta pesquisa. Existem duas versões da ferramenta (FMT): *FMTApp* (Figura 3-28) e *FMTDevelopment* (Figura 3-29). As duas oferecem a mesma funcionalidade para análise do cansaço. A análise pode ser feita durante a gravação do vídeo ou posteriormente sobre o arquivo de vídeo gravado.

A diferença consiste no método de apresentação dos resultados. A *FMTApp* é versão desenvolvida para o usuário final. Sua interface é simplificada e a partir dela o

usuário da FMT especifica como deseja avaliar e acompanhar os resultados apresentados nos indicadores (barras ou medidor analógico).

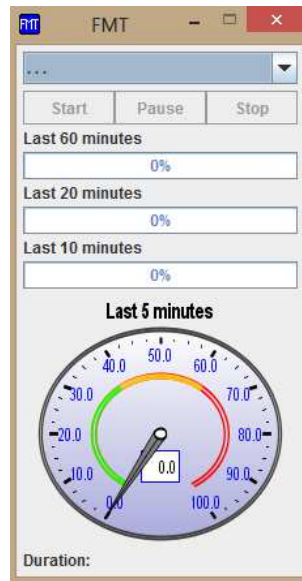


Figura 3-28 Interface *FMTApp*

A versão *FMTDevelopment* (Figura 3-29) foi concebida para os desenvolvedores da ferramenta, oferecendo funcionalidades extras de análise da codificação. Nela é oferecida uma janela (*prompt* de comando) para depuração de erros e para investigação dos resultados apresentados nas barras laterais, permitindo avaliar se estão coerentes com aqueles calculados durante o funcionamento da ferramenta.

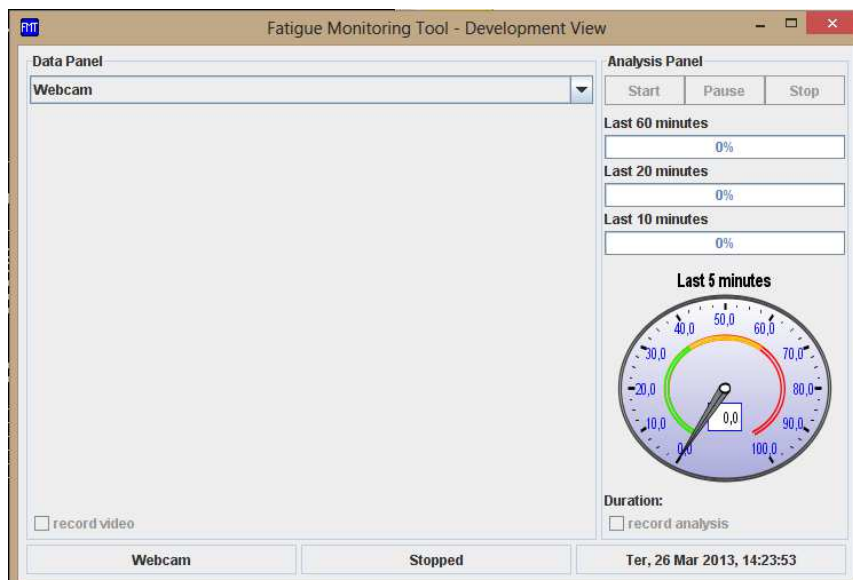


Figura 3-29 Interface *FMTDevelopment*.

A arquitetura básica da FMT (Figura 3-30) consiste da Interface desenvolvida em Java e no algoritmo para processar as imagens. A comunicação entre os dois módulos é feita através de uma biblioteca desenvolvida em C++.



Figura 3-30 Camadas da FMT

Existem diversos algoritmos para compor uma aplicação de análise da fadiga. Estes compartilham as funções: identificar a face, identificar e rastrear os olhos, analisar a boca e contabilizar o tempo que os olhos ficam fechados (PERCLOS).

Na atual versão da ferramenta, um algoritmo rastreia e analisa a abertura e fechamento dos olhos e o tempo que o indivíduo passa com os olhos fechados. Também identifica a face e reconhece se há alguém em frente à câmera. Se durante a observação o usuário for substituído, o algoritmo refaz o padrão para identificar o novo usuário (Ibrahim et al, 2012).

Os algoritmos da FMT são complementados por um extrator de características e por uma rede neural para treinar o algoritmo. A base de dados de imagens de indivíduos com vários níveis de fadiga foi elaborada com a ajuda de um grupo de psicólogos da universidade de Strathclyde, a partir de um experimento durante o qual um grupo de participantes com diferentes níveis de privação de sono executaram o mesmo conjunto de tarefas. Os indivíduos foram agrupados segundo o número de horas de provação do sono e a base de dados registrou suas características faciais e os respectivos níveis de fadiga. Segue uma descrição sucinta das funcionalidades oferecidas pela FMT.

- Especificar o tipo de arquivo a analisar e as fontes de imagem:
 - Webcam (dados em tempo real) – na versão do usuário (*FMTApp*) o registro da análise é gravado automaticamente.
 - Arquivos de vídeo (*Video file*): no formato AVI, MP4 e MPEG;
 - Pasta de figuras (*Picture folder*): vídeo salvo em uma pasta, separado em quadros;
 - *IPcam1 (183.39)*: IP camera with IP address 130.159.183.39;

- *IPcam2 (183.145): IP camera with IP address 130.159.183.145;*
- *IPcam3 (183.29): IP camera with IP address 130.159.183.29.*
- A análise é registrada (*log*) e armazenada em um arquivo “txt”.
- A análise pode ser acompanhada em tempo real, através de indicadores exibidos na lateral da tela.
- Alarme sonoro: durante a análise em tempo real, os níveis de fadiga são monitorados e quando o nível de cansaço excede um nível preestabelecido (nível vermelho), um alarme sonoro é acionado indicando “perigo”. Esta função foi adicionada para alertar o usuário sobre seu elevado nível de cansaço, durante a realização de atividades críticas.
- Na versão do usuário, a análise é automaticamente armazenada em um vídeo. Na versão do desenvolvedor, é possível selecionar a gravação do vídeo e a análise realizada.

Na análise do “arquivo de vídeo”, em um teste preliminar, a análise se mostrou muito lenta. Para analisar 1.0 segundo de vídeo são necessários em torno de 8 segundos de análise. Isso decorre do pré-processamento do vídeo, o qual é segmentado em quadros (*frames*). A segmentação é feita com a ferramenta FFMPEG⁶ no modo pasta de figuras (*Picture folder*). As IPcam não foram testadas, pois a ferramenta foi configurada para utilizar câmeras IP específicas, as quais não estavam disponíveis por ocasião do experimento. Sugeriu-se criar a opção para IPcam, na qual o usuário possa definir o IP da câmera ou fazer uma busca na rede.

Análise dos resultados da FMT

O resultado da análise, exibido em tempo real, indica o nível de cansaço acumulado, nos últimos cinco minutos. A visualização do cansaço em um ponto no tempo é feita através de um mostrador analógico e, os últimos 10, 20 e 60 minutos de cansaço acumulado são representados através de barras, em níveis percentuais. Onde 0% indica com nível insignificante de cansaço. A cada novo resultado é exibido o cansaço acumulado até aquele instante, até que sejam atingidos 100%. As cores indicam os níveis de cansaço (ver Figura 2-5):

- Verde: indica nível de cansaço dentro da faixa de normalidade;
- Amarelo: indica alerta- nível de cansaço acima da faixa;

⁶ <http://www.ffmpeg.org/>

- Vermelho: indica perigo – nível de cansaço excedeu o limite preestabelecido.

Os dados da análise são atualizados nos medidores a cada 30 segundos. Os dados correspondem à média dos valores obtidos para um conjunto de amostras. Os resultados não são instantâneos, mas a média de um conjunto de amostras, sim. Os valores medidos podem aumentar ou diminuir com o nível de cansaço medido.

Os níveis de cansaço são classificados em uma escala: 0, 3, 5 e 8 que corresponde à quantidade de horas de sono subtraídas do usuário. Por exemplo, 0 corresponde a uma noite de sono sem privação, 3 corresponde à privação de três horas de sono e, assim por diante. Para extrair essas informações foi elaborado um experimento no qual os rostos dos usuários foram gravados enquanto realizavam tarefas cansativas, após alguns terem sido privados de horas de sono na noite anterior. Em seguida utilizou-se parte desta amostra para treinar o algoritmo de reconhecimento de padrões de fadiga e gerar um padrão com a quantidade de vezes que o usuário pisca quando é privado de uma determinada quantidade de horas de sono.

Está em desenvolvimento uma nova versão da FMT a qual inclui algoritmos para analisar a boca, identificando bocejos. Nela também é possível utilizar mais de uma câmera na captura dos dados, pois em algumas situações são utilizados vários monitores durante um treinamento. Uma sugestão encaminhada à equipe que desenvolveu a FMT é indicar na interface quando o rosto e os olhos estão sendo identificados. Pois assim durante a observação seria possível saber se a ferramenta está identificando o rosto adequadamente, evitando falsos resultados e caso o acompanhamento esteja sendo em tempo real pode alertar ao operador para não afastar-se da câmera.

Uma limitação da FMT está associada à iluminação ambiente. Em alguns casos, não foi possível detectar os olhos adequadamente, ou por excesso ou por falta de luminosidade. Além disto, é necessário que o usuário esteja sempre olhando frontalmente para a câmera. Caso ele fique disperso e, desvie o olhar da câmera é interpretado como falta de atenção. O algoritmo só funciona para a visão frontal, e com a captura da imagem dos dois olhos. Neste caso, sugeriu-se a colocação de um alarme sonoro para que o usuário seja alertado, ou usar esta informação como indicador do nível de desatenção, contabilizando o tempo que o usuário passa sem olhar para a tela com a qual está trabalhando.

3.3.3 Emotiv EPOC

Desenvolvido pela empresa Emotiv® (Emotiv, 2013), o EPOC consiste em um equipamento portátil para a realização de eletroencefalograma (EEG), com o propósito de implementar a interação do tipo interface computador-cérebro (*Brain-Computer Interface* - BCI), como ilustrado na Figura 3-31a.

O EPOC é composto de um conjunto de sensores de sinais cerebrais (*neuro headset*), compondo 14 canais para leitura (eletrodos), com comunicação sem fio. Possui 3 programas de detecção: o *Expressiv* que capta as expressões faciais do usuário; o *Affectiv* monitora o estado de emoção do usuário e, o *Cognitiv* apresenta os resultados obtidos dos sensores no padrão BCI (Figura 3-31b); servindo de controle para os dados lidos.

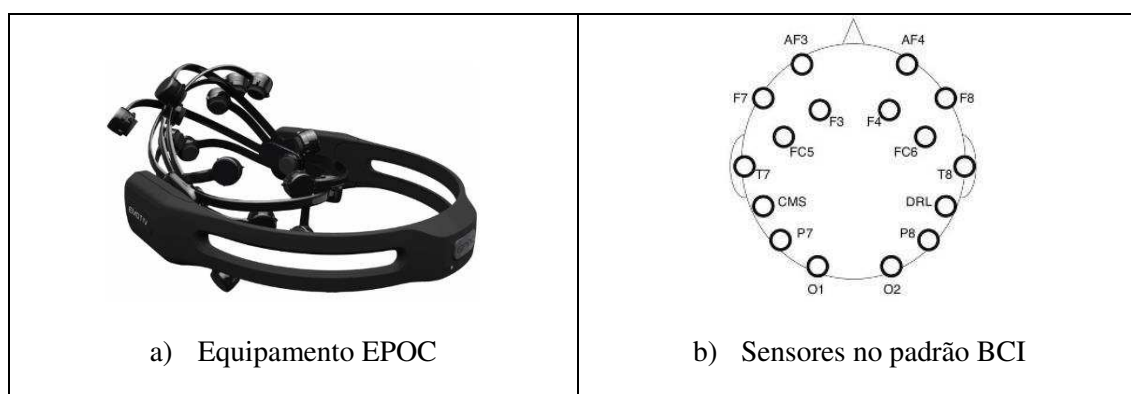


Figura 3-31 Emotiv EPOC

Antes de utilizar o EPOC deve-se: umidificar os sensores com uma solução salina para aumentar a condução; colocar o equipamento sobre a cabeça do indivíduo a ser observado e em seguida conectar o receptor ao computador no qual está instalado o programa do EPOC. A partir deste programa é possível verificar se todos os canais estão fazendo a leitura de forma adequada, através de uma tela de sinalização da leitura dos sensores. Em alguns casos, o cabelo causa interferência na leitura. Para a captação dos dados foi utilizado um roteiro do *Expressiv*, que capta e armazena informações como: *timestamp*; número de identificação do usuário; nível do sinal da comunicação; número de piscadas; piscada apenas do olho direito e esquerdo; olhada para esquerda ou direita; altura sobrancelha; sorriso; movimento das bochechas, entre outros.

Neste trabalho, as amostras foram analisadas do ponto de vista das piscadelas e do número de vezes que o usuário olhou para o lado. A partir das amostras foi calculado o número de piscadas por minuto (total de piscadas dividido pelo tempo); o PERCLOS durante o experimento - número de amostras nas quais os olhos estavam fechados,

dividido pelo total de amostras (Sommer e Golz, 2010) e; o percentual do tempo durante o qual o usuário ficou olhando para um dos lados – número de amostras nas quais o usuário desviou o olhar da tela, dividido pelo total de amostras.

3.3.4 Análise comparativa das ferramentas

Do estudo realizado conclui-se que as características das duas ferramentas são complementares, para os propósitos deste projeto. Por um lado o FaceReader analisa expressões faciais (como, olhos, bocas, bochecha, testa e queixo), reconhecendo emoções como alegria ou tristeza. Por outro lado a FMT foi concebida apenas para a análise do grau de fadiga, e assim analisa apenas os olhos. Estes também são observados no FaceReader, porém não são utilizados para o propósito da análise da fadiga do usuário, mas para investigar suas emoções. Enquanto o FaceReader é comercializado, a FMT é disponível no grupo de pesquisa da Universidade de Strathclyde.

Nesta pesquisa, o FaceReader poderia ser utilizado para analisar o estado emocional dos indivíduos, que não é o foco do trabalho, enquanto a FMT poderia analisar o estado fisiológico do indivíduo no que concerne o cansaço. Estas informações podem ser cruzadas com os objetivos do treinamento e os resultados alcançados pelo operador; permitindo uma análise cruzada das ações executadas durante o treinamento com o estado do participante do experimento no mesmo instante de tempo. Deste modo é possível explorar a influência da fadiga sobre o desempenho, a partir da associação entre: os erros cometidos, o nível de experiência do participante e as suas características fisiológicas.

3.4 Investigação do estado do participante do experimento

Durante o treinamento foram aplicados questionários para identificar e mapear características específicas dos participantes as quais foram utilizadas para analisar e atribuir o nível de desempenho. Os questionários aplicados foram: levantamento do perfil do usuário adotado no PEOI; o TLX para análise de carga de trabalho e, o D2 para análise do nível de atenção e concentração. Estas ferramentas são descritas a seguir.

3.4.1 Perfil do usuário e questionário de satisfação do usuário

O objetivo deste questionário (Aguiar e Vieira) é levantar as características do participante, tais como: idade, escolaridade, formação, tempo de experiência na função, horas de sono e treinamentos realizados. O questionário também permite analisar as características de personalidade na visão do participante, tais como: timidez, proatividade e nível de cansaço, questionário utilizado no Apêndice D.

No questionário de satisfação do usuário (pós-teste) é feito um levantamento da sua opinião e experiências com o uso do produto, com a navegação no ambiente e com a tarefa realizada. O questionário utilizado encontra-se no Apêndice E.

3.4.2 NASA-TLX

A carga de trabalho percebida pelo participante durante um treinamento pode ser expressa a partir de três aspectos (Hart e Staveland, 1988). Os aspectos são subdivididos em dimensões: comportamento (esforço e o desempenho percebidos); tarefa (demandas mental, física e temporal para sua realização); e subjetivo (frustração percebida). Há seis dimensões as quais são apresentadas no formato de questões, respondidas em uma escala de 20 pontos, cada. As dimensões podem ser analisadas isoladamente, mas a quantificação da carga de trabalho se dá a partir do somatório dos valores individuais. A carga de trabalho varia de 0 (carga mínima) à 120 (carga máxima), sendo considerada excessiva se ultrapassar 60 pontos. Com o TLX também é possível identificar as dimensões que mais contribuíram para a composição da carga de trabalho percebida.

Este questionário foi utilizado no trabalho de (Oliveira, 2008), para a avaliação do cansaço dos operadores no cotidiano da operação de uma sala de comando de sistemas elétricos. No trabalho foi constatado, na percepção dos operadores, que estão sujeitos a elevados níveis de fadiga. A principal causa de fadiga deve-se à organização do trabalho em turnos. Este cansaço impacta a capacidade de decisão durante situações de anormalidade, nas quais os operadores devem agir de maneira rápida e segura para solucionar problemas, tipicamente associados à desenergização parcial ou total de uma parte do sistema. O trabalho ressalta a importância dos treinamentos para promover autoconfiança entre os operadores, na execução da sua atividade, exemplo no Apêndice B.

Na Figura 3-32 é ilustrada a coleta de dados com o questionário NASA-TLX para um dos participantes do experimento com os níveis percebidos da carga de trabalho. Após ser aplicado o questionário deve-se calcular a carga de trabalho do respondente. Cada escala representada no questionário tem um peso atribuído entre 1 e 20, para: esforço mental, esforço físico, nível de dificuldade e frustração. O peso aumenta da esquerda para direita. Por outro lado, o peso de: prazo e taxa de sucesso cresce da direita para esquerda. Assim, no caso ilustrado na Figura 3-32, para o esforço mental o participante assinalou 16 na escala, o que corresponde a 16 pontos. O limite inferior para detecção de sobrecarga de trabalho é 60 pontos no total.

NASA-TLX

Como você classifica o **esforço mental** necessário para realizar a tarefa no simulador?

Muito baixo Muito alto

Como você classifica o **esforço físico** necessário para realizar a tarefa no simulador?

Muito baixo Muito alto

Como você classifica o **prazo** para concluir a tarefa?

Muito reduzido Muito elevado

Como você classifica a **taxa de sucesso** alcançada durante a execução da tarefa ? (Você conseguiu realizar aquilo que lhe foi solicitado no teste ?)

Falha Sucesso

Como você classifica o **nível de dificuldade** para completar a tarefa?

Muito baixo Muito elevado

Com qual intensidade os sentimentos combinados (**incerteza, desânimo, irritação, estresse e aborrecimento**) foram sentidos por você quando terminou a tarefa?

Muito baixa Muito elevada

Agradecemos sua participação!

Figura 3-32 Exemplo de questionários NASA TLX preenchido

Na Figura 3-33 é ilustrada a escala de pontos alcançada pelo participante respondente do questionário ilustrado na Figura A-8. Nela observa-se que este

participante não percebeu uma sobrecarga de trabalho durante o treinamento. Esta foi a situação declarada por todos os participantes.

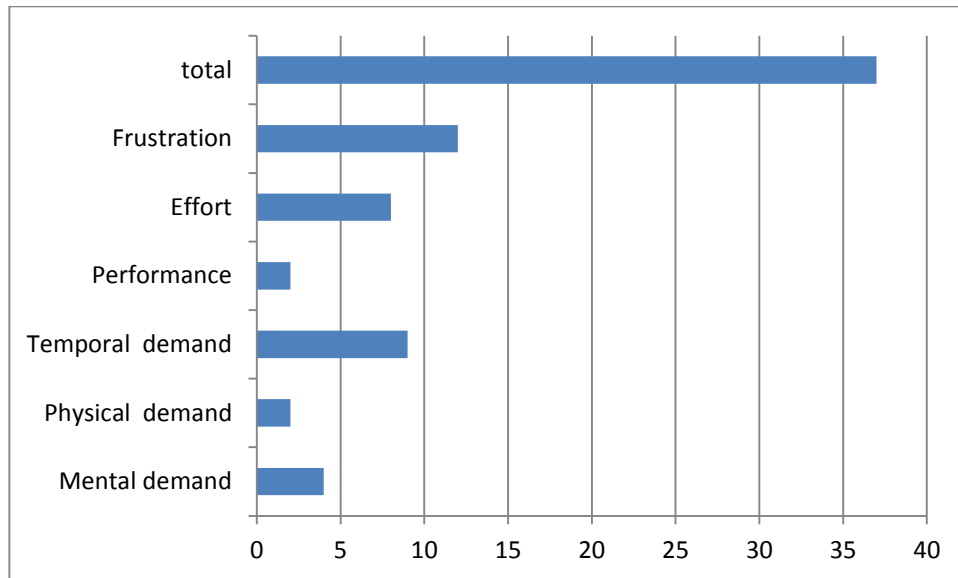


Figura 3-33 Resultado do NASA-TLX para um dos participantes

3.4.3 D2

Test d'Attention Concentrée - D2 (Brickenkamp, 1994). Este é um teste aplicado na psicologia para identificar patologias relacionadas à atenção e à concentração. O respondente deve reconhecer um conjunto de três caracteres específicos em uma sequência de 47 caracteres diversos. A seleção acontece em um total de 14 repetições, cada uma com o prazo de meio minuto (totalizando 658 minutos). A partir das respostas fornecidas calcula-se um conjunto de índices os quais ao serem analisados classificam os resultados na situação de normalidade ou de anormalidade; quanto ao desempenho qualitativo e quantitativo do participante na realização do teste, diagnosticando os níveis de atenção e agilidade.

Para exemplificar, na Figura 3-34 é ilustrada a coleta de dados com o questionário NASA-TLX para um dos participantes do experimento. Os retângulos destacam os caracteres que deveriam ter sido assinalados. Neste questionário o participante deve reconhecer um conjunto de três caracteres específicos em uma sequência de 47 caracteres diversos. A seleção acontece em um total de 14 repetições, cada uma no prazo de 30 segundos.

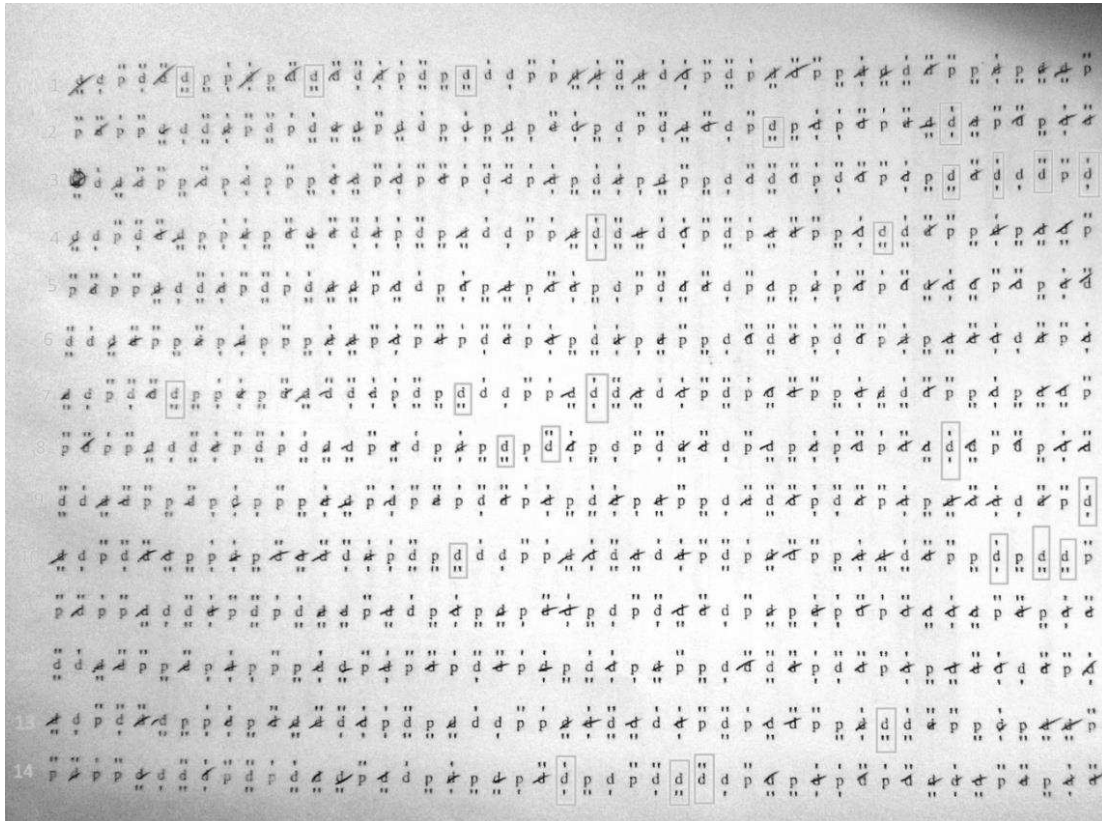


Figura 3-34 Questionário D2 respondido

Na Tabela 3-1 são descritos os parâmetros: GZ que consiste na quantidade de símbolos identificados adequadamente; F1 que consiste na quantidade de símbolos que deixaram de ser marcados e F2 que representa o número de caracteres marcados errados correspondentes ao questionário preenchido na Figura 3-34.

Na

Tabela 3-2 são apresentados os percentuais calculados com base em dados consultados de uma tabela pré-definida do questionário D2. Estes dados são em seguida projetados em um gráfico para situar o indivíduo em uma região de nível de atenção e concentração a qual pode, ou não, ser considerada normal. Este participante foi considerado atento e concentrado durante a tarefa, tendo se enquadrado no quadrante de alto índice quantitativo (velocidade) de resposta e de bom desempenho (qualitativo) nas respostas.

Tabela 3-1 Resumo da contabilização dos erros e acertos no questionário D2

Linha	GZ	F1	F2	Total (G-(F1+F2))
1	46	3	0	43
2	42	2	0	40
3	47	1	0	46
4	46	2	0	44
5	47	0	0	47
6	47	0	0	47
7	46	3	0	43
8	47	3	0	44
9	45	0	0	45
10	40	1	0	39
11	47	0	0	47
12	47	0	0	47
13	46	1	0	45
14	47	3	0	44
Total	640	19	0	621

Tabela 3-2 Resumo da parametrização dos resultados

	NB	%	RP	NS	Q
GZ	640	-	99,5	125	Q4e
F	19	2,96875	<4,2	-	Q3
GZ-F	621	-	99,2	124	Q4e
SB	7	-	<9	-	Q4e
F-Vert		8	7	4	

3.5 Considerações do capítulo

Espera-se que a ferramenta FAT amplie o espectro da avaliação de treinamentos. O seu diferencial consiste em possibilitar a integração com diferentes simuladores, sistemas supervisórios e outros ambientes computacionais utilizados no treinamento de operadores. Dentre suas características destacam-se: o BD como elemento de acoplamento entre ferramentas e a adaptabilidade do módulo de descrição de atividades, a outros domínios de aplicação, além do treinamento de operadores de sistemas elétricos. Finalmente, destaca-se a introdução da análise quantitativa, baseada no tempo de cada ação e no número de erros cometidos, no processo de avaliação. No próximo capítulo serão apresentados estudos realizados com a FMT e demais ferramentas apresentadas neste capítulo.

Capítulo 4 Estudos de casos

Neste capítulo serão apresentados os experimentos realizados para validar o método de avaliação e a ferramenta de avaliação de treinamento (FAT). Foram elaborados dois experimentos, com base no protocolo experimental PEOI. O PEOI foi adotado por ser o protocolo padrão utilizado no grupo de pesquisa para a observação do usuário durante a execução da tarefa. O primeiro experimento foi realizado no ambiente do simulador SimuLIHM, no ambiente da Universidade de Strathclyde - Reino Unido e, o segundo foi realizado a partir da análise de arquivos de *log* de treinamentos realizados, no ambiente SAGE e SIMULOP, cedidos por uma empresa do setor elétrico.

4.1 Avaliação de treinamentos realizados no SimuLIHM

Neste experimento foi utilizado o simulador em ambiente virtual 3D, para treinamento de operadores – SimuLIHM. Este simulador foi desenvolvido no Laboratório de Interface Homem Máquina – LIHM para ser utilizado no estudo do erro humano durante a operação de sistemas críticos. No entanto, com a evolução do projeto, o simulador se tornou adequado ao treinamento de operadores, na realização de tarefas de operação de subestações de sistemas elétricos. Sua configuração permite o treinamento na realização de atividades rotineiras, tais como a abertura e fechamento de chaves seccionadoras e de disjuntores; além de permitir o treinamento em situações de emergência, envolvendo a identificação de faltas no ambiente de operação de uma subestação.

O experimento consistiu em realizar sessões de treinamento, em ambiente de laboratório, com um grupo de sete usuários. O experimento objetivou a coleta de dados do histórico das ações realizadas (*log*) no simulador, as quais foram posteriormente processadas pela Ferramenta de Avaliação de Treinamento (FAT). O experimento também objetivou coletar dados sobre o estado de fadiga dos participantes.

O planejamento e a realização do experimento foram apoiados pelo Protocolo Experimental para Observação da Interação (PEOI). No apêndice B encontra-se disponibilizado o artefato gerado da fase de planejamento do experimento. Os resultados da avaliação do treinamento foram confrontados com os dados coletados através da observação realizada durante o experimento.

Considerando os objetivos do experimento, foram selecionadas métricas para mensurar o desempenho dos participantes nas tarefas realizadas. As métricas adotadas foram: tempo de execução da tarefa; quantidade e tipos de erros cometidos; dificuldades encontradas pelos participantes; a percepção da carga de trabalho declarada pelos participantes durante o experimento; o nível de fadiga mensurado pela análise de vídeo das expressões faciais dos participantes; e o nível de atenção mensurado a partir da relação entre o tempo gasto na atividade e o tempo de visualização da tela.

O experimento foi dividido em três etapas:

1. Aplicação de questionários pré-teste com o objetivo de levantar o perfil do usuário e determinar o seu nível de atenção (utilizando o questionário D2);
2. Realização das tarefas programadas (duas) e coleta de dados em paralelo;
3. Aplicação de questionários pós-teste visando: identificar o nível de satisfação do usuário durante o experimento (questionário de satisfação) e para identificar sua percepção da carga de trabalho (NASA-TLX) durante o experimento.

O experimento ocorreu no ambiente de laboratório (ver Figura 4-1.a), com a presença do participante e de dois observadores. Os observadores visualizavam a tela do participante e podiam interagir com ele/ela durante o teste. Cada sessão do experimento foi acompanhada da coleta de dados que consistiu na gravação da tela e das expressões faciais do usuário (ver Figura 4-1.b que inclusive no canto superior esquerdo é exemplificado a análise da FMT); além do registro no banco de dados do simulador do histórico das ações realizadas durante o treinamento.

Os participantes foram agrupados de acordo com o tempo de privação do sono na noite anterior à realização do experimento. Na determinação do nível de fadiga do participante foram utilizados os seguintes recursos:

- Observação realizada pelos tutores focalizando: dificuldades; erros cometidos, apoiada pelo registro em papel e vídeo.
- Utilização do equipamento para leitura e captura das ondas cerebrais: EPOC – EEG; visando determinar o estado de fadiga dos participantes do experimento.
- Questionários (D2 e TLX) para determinação do nível de atenção e da carga de trabalho.

- A ferramenta *Fatigue Monitoring Tool* (FMT), para processar as imagens de vídeo capturadas, do rosto do participante, visando determinar seu nível de fadiga ao longo do experimento. Neste caso foi levando em consideração o tempo de pravação do sono de cada indivíduo.

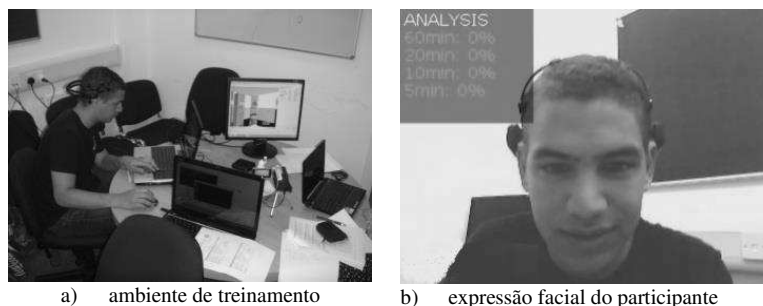


Figura 4-1 Participante durante o experimento

4.1.1 Perfil dos usuários do treinamento

O perfil dos participantes consistiu de: 7 indivíduos com idade entre 21 e 29 anos, todos, exceto um (doutorando) eram alunos de graduação; sendo cinco homens e duas mulheres. Três indivíduos já haviam utilizado o simulador em treinamentos anteriores, enquanto os outros quatro receberam um treinamento na primeira etapa do experimento.

A distribuição dos indivíduos segundo o número de horas de privação do sono foi a seguinte: 2 indivíduos com privação de 8h de sono (realizaram o experimento sem dormir na noite anterior); dois indivíduos dormiram cinco horas (privação de 3h); dois indivíduos dormiram apenas três horas (privação de 5h); e um indivíduo que dormiu as oito horas (privação de 0h).

4.1.2 Descrição da tarefa

A tarefa consistiu na realização de duas manobras sobre o sistema elétrico representado no SimuLIHM: (a) liberação de um disjuntor para manutenção e (b) normalização do mesmo disjuntor com reenergização da linha e desativação do barramento auxiliar.

Para tornar a atividade mais realista, de modo a facilitar a observação do comportamento dos participantes, ao longo da tarefa foram programados no ambiente do simulador, elementos considerados estressores: telefone tocando; alarmes visuais e sonoros. O telefone, localizado na mesa do operador, no ambiente virtual do simulador deveria ser atendido no ambiente virtual para ser silenciado e, os alarmes sonoros e visuais em painéis de comando deveriam ser reconhecidos, para tratamento posterior. Estes

deveriam ser localizados no ambiente virtual e silenciados. Isto serviu para tirar a atenção do usuário na execução da tarefa.

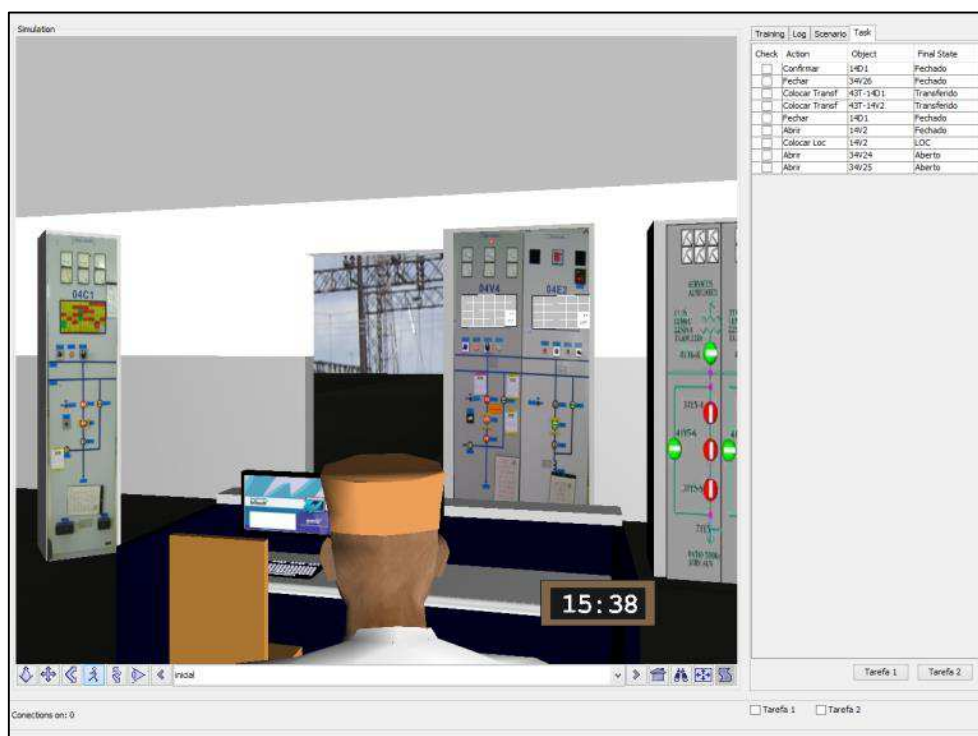


Figura 4-2 Tela do usuário durante o experimento

Na Tabela 4-1 é apresentado um trecho do roteiro utilizado como referência pelo observador durante o experimento. Nele encontram-se registrados os tempos programados para disparo dos eventos planejados, além de um campo para o registro do tempo no qual as intervenções do participante ocorreram.

Tabela 4-1 Trecho do roteiro de manobra

1	LIBERAÇÃO DISJUNTOR 14V2		HORA
1.5	CGD	Fechar a chave 34V2-6, no painel 04V2	:
1.6	CGD	Colocar a chave 43 -14D1 na posição 'TRANSFERÊNCIA', no painel 14D1	:
		Disparar alarme no painel 12A4 correspondentes	:
1.7	CGD	Colocar a chave 43 -14V2 na posição 'TRANSFERÊNCIA', no painel 04V2	:
		Tocar o telefone	:

No Apêndice D pode-se consultar o roteiro completo da manobra que o operador deveria realizar e o roteiro dos tutores. As sessões de treinamento foram realizadas ao longo de três dias consecutivos e os observadores realizaram a avaliação do desempenho a partir da análise das metas alcançadas. Estes resultados foram comparados com aqueles

produzidos a partir da análise realizada sobre o arquivo de log. Esta comparação será discutida na próxima seção.

4.1.3 Resultados do experimento 01

A análise da ferramenta FMT sobre o histórico do treinamento armazenado no banco de dados, comparando as ações prescritas com aquelas realizadas gerou o diagnóstico com os erros cometidos pelos participantes na tarefa 1, ilustrados na Tabela 4-2 e, os erros cometidos na tarefa 02, ilustrados na Tabela 4-3.

Nas tabelas são exibidos os parâmetros adotados na análise do desempenho. O total de erros cometidos durante a tarefa; o detalhamento dos erros, especificando o número de erros para cada tipo. Na Tabela 4-2, relativa à Tarefa 01, o participante P2 cometeu um erro do tipo 2, dois erros do tipo 3; quatro erros do tipo 4. Há também o número de horas de privação de sono na noite anterior à participação no experimento. O participante P2 dormiu apenas 3 horas das 8 horas de sono estipuladas como referência para o grupo tendo, portanto sido privado de 5 horas de sono.

Por fim são apresentados os parâmetros: tempo gasto na realização da tarefa (em minutos) e sua comparação com o tempo estimado e estado final da tarefa: concluída com sucesso (conseguiu executar todas as tarefas sem cometer erros nas ações), concluída com erro (cometeu pelo menos um erro ou ultrapassou o tempo estimado) e interrompida (desistiu da tarefa em decorrência de alguma influência externa). A partir dos dados exibidos nas duas tabelas é possível associar o desempenho ao nível de fadiga esperado (horas de sono) e o índice fadiga mensurado.

Tabela 4-2 Resumo dos resultados da execução da tarefa 01

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Quant. Erros	4	7	1	3	0	3	2
Tipos de erro (tipo/quant.)	1:4	2:1;3:2,4:4	1:1	1:1, 2:1, 3:1	-	1:1, 3:2	1:1, 3:1
Privação do sono	8h	5h	0h	8h	5h	3h	0h
Duração* (mm:ss)	24:03	17:20	15:03	18:24	11:33	19:00	17:31
Tarefa concluída	Com erro	Com erro	Com erro	Com erro	Com sucesso	Com erro	Com erro
Experiência do usuário	Média	Baixa	Baixa	Média	Baixa	Baixa	Baixa

*o tempo previsto para execução da tarefa era **20 minutos**

Nas Tabela 4-2 e Tabela 4-3 foram destacados os participantes que ultrapassaram o tempo, apenas P1 na tarefa 1 e o que terminou mais rápido foi P5 na tarefa 1 e P4 na tarefa 2, e os que comentaram mais de três erros possuem um destaque mais escuro P1 e P2 para a tarefa 1 e P4 e P7 para a tarefa 2.

Tabela 4-3 Resumo dos resultados da execução da tarefa 02

	US1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Quant. Erros	0	1	2	4	0	1	4
Tipos de erro (tipo:quant.)	-	3:1	2:2	2:1, 3:3	-	3:1	2:1, 3:3
Privação do sono	8h	5h	0h	8h	5h	3h	0h
Duração* (mm:ss)	03:43	04:34	06:58	08:00	07:34	08:00	06:41
Tarefa concluída	Com sucesso	Com erro	Com erro	Com erro	Com sucesso	Com erro	Com erro
Experiência do usuário	Média	Baixa	Baixa	Média	Baixa	Baixa	Baixa

*o tempo previsto para execução da tarefa era **10 minutos**

Como já foi mencionado, adotou-se a tipologia do erro elaborada pelo grupo de pesquisa do LIHM. Segue a legenda da tipologia do erro para as tabelas Tabela 4-2 e Tabela 4-3:

1. Ação correta sobre o objeto errado;
2. Ação sem relação ou inapropriada;
3. Repetição da ação;
4. Tarefa fora da sequência.

4.1.3.1 Correlação do nível de fadiga com o desempenho dos participantes

Os gráficos apresentados a seguir destacam os erros cometidos pelos participantes. Na Figura 4-3 são apresentados os erros cometidos na Tarefa 01- liberação do 04V2, enquanto a Figura 4-4 destaca os erros cometidos na Tarefa 02- normalização do 04V2.

Da análise das Tabela 4-2 e Tabela 4-3 conclui-se que o índice de fadiga influenciou no desempenho dos participantes como destacado nas tabelas, dado que aqueles com maior privação do sono tiveram o rendimento mais baixo. No entanto, outras variáveis devem ser consideradas ao realizar esta análise dado que o P07 dormiu 8 horas e cometeu erros acima da média enquanto o participante P05, privado de 5 horas, não cometeu erros.

Da observação realizada durante o experimento, o participante P05 não apresentou sinais de cansaço, apesar da privação de sono; resultado este comprovado pelo diagnóstico da ferramenta FMT. Por outro lado, o P07, com privação de 0 horas, teve dificuldades na realização da tarefa, cometendo erros. Segundo explicações do participante P07 fornecidas no questionário pós-teste, suas dificuldades decorreram da pouca familiaridade com ambientes de jogos, cansaço do dia e foi observado um pouco

de impaciência ao fim da tarefa, enquanto P05 afirmou no seu questionário que sua familiaridade com jogos no computador facilitou o uso do ambiente 3D do simulador.

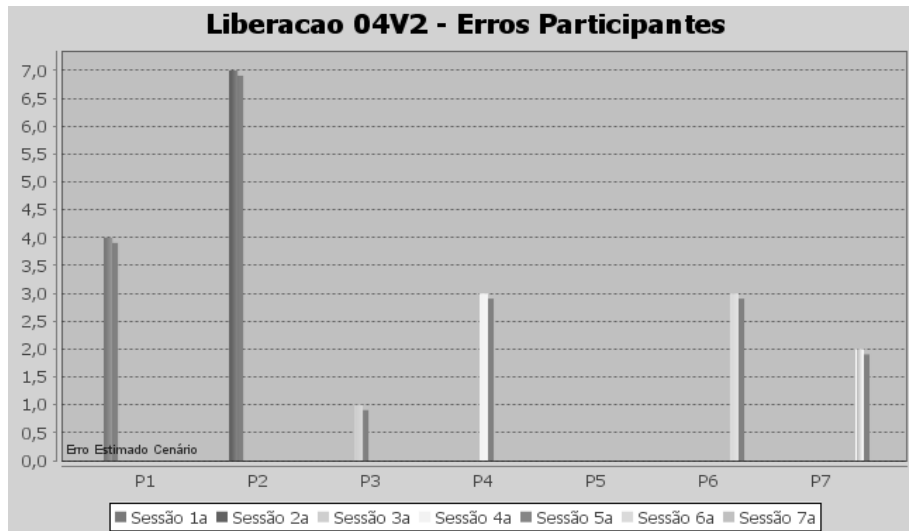


Figura 4-3 Total de erros cometidos na Tarefa 01

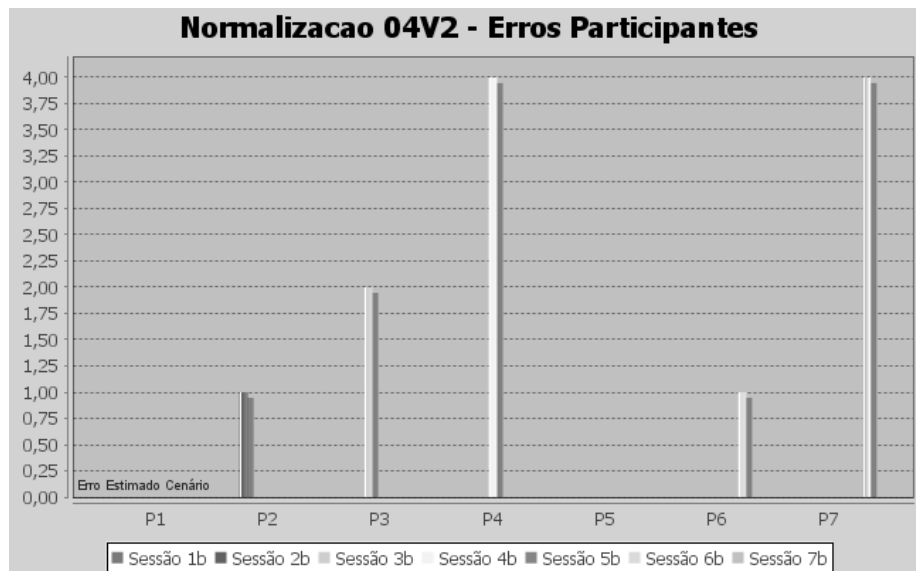


Figura 4-4 Total de erros na Tarefa 02

Apesar de cometer poucos erros, o P01 se destacou ao cometer o erro de maior gravidade dentre os participantes do grupo. Seu erro consistiu em realizar uma ação correta sobre o objeto errado, demonstrando que ele conhecia o procedimento a realizar, mas devido ao cansaço e falta de atenção, atuou sobre o objeto errado.

Destaca-se que a avaliação do nível de atenção inerente aos participantes, avaliado a partir da aplicação do D2, diagnosticou que todos os participantes possuem níveis de atenção dentro da normalidade.

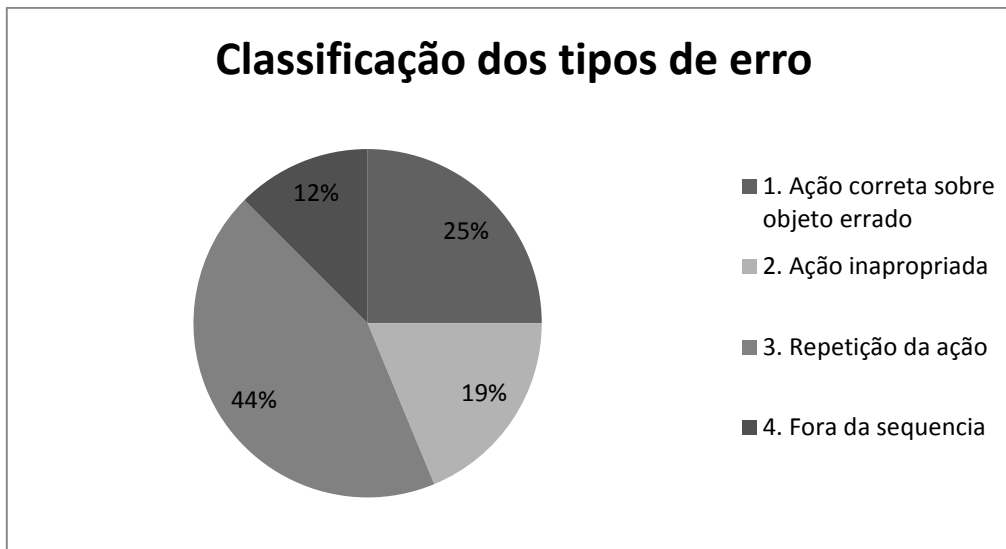


Figura 4-5 Classificação e quantidade por tipo de erro

Dentre os participantes, o erro mais frequente durante os experimentos foi o acréscimo de uma ação não prevista na sequência de ações da tarefa. Este é um erro de baixa gravidade, dado que suas consequências em geral não causam alterações no sistema. A causa principal foi a execução repetida de uma ação sobre um objeto, antes de receber a realimentação do sistema. O segundo erro mais frequente consistiu na realização de uma ação inapropriada, ou seja, a atuação sobre objetos fora do contexto da tarefa. Este é um erro mais grave, dado que pode impedir a conclusão da tarefa, como de fato ocorreu durante o experimento. Esta categoria de erro demanda uma análise cuidadosa das causas potenciais, podendo denotar a necessidade de novos treinamentos.

O tempo empregado na realização da tarefa encontra-se detalhado, para cada participante, nos gráficos ilustrados nas Figuras 4-4 e 4-5. Destaca-se que os participantes dispuseram de vinte minutos para realizar a primeira tarefa e de dez minutos para realizar a segunda tarefa.

Apenas o participante P01 ultrapassou o tempo estimado para execução da tarefa 01, o que pode ter sido decorrente do seu nível de fadiga. Porém este participante foi o mais rápido na conclusão da segunda tarefa. O que pode ser explicado pelo aumento da familiaridade no uso do simulador. Os demais participantes concluíram suas tarefas no tempo previsto, o que pode ter resultado do bom nível de conhecimento da tarefa e do simulador, ou ainda ter resultado de uma estimativa benevolente do tempo para realização da tarefa. Esta última questão pode ser descartada dado que a estimativa de tempo se baseou no tempo estimado para realização da tarefa o ambiente real de trabalho.

A partir da análise dos tempos gastos nas duas tarefas, pelo mesmo participante constatou-se que o simulador é de fácil aprendizado, dado que após realizar a Tarefa 01 houve uma redução no tempo esperado para realização da tarefa 02; além de uma redução no número de erros cometidos. Isto se deve ao fato do participante se deslocar com maior facilidade no ambiente 3D e localizar mais rapidamente os objetos na sala de comando virtual da subestação.

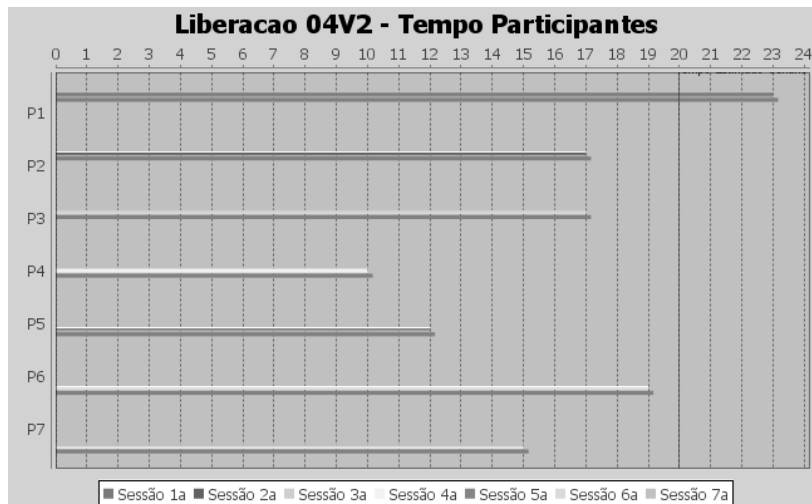


Figura 4-5 Tempos de execução da tarefa 01

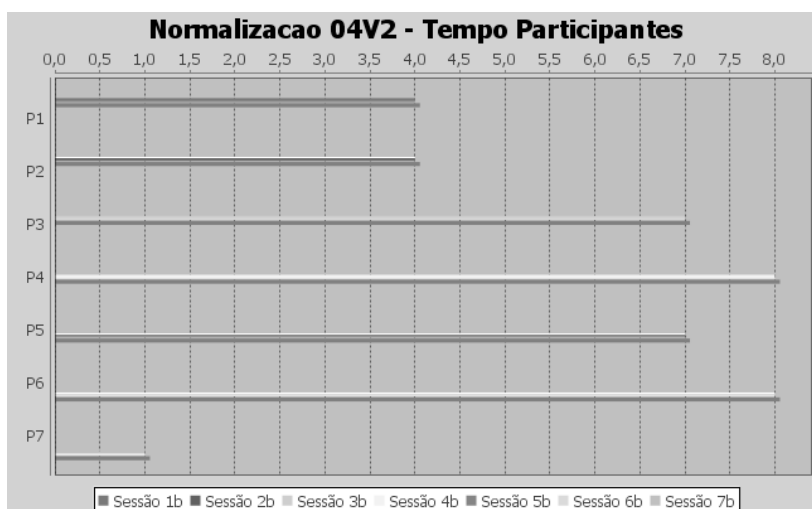


Figura 4-6 Tempos de execução da tarefa 02

Os resultados do questionário pós-teste, relativo ao índice de satisfação dos participantes, demonstrou que todos consideraram a tarefa de fácil realização, embora quase todos tenham cometido pelo menos um erro durante a execução da tarefa. Isto pode resultar do fato dos participantes não terem formação na área de sistemas elétricos desconhecendo, portanto a natureza dos procedimentos que estavam realizando. Apesar

da formação técnica; eram participantes voluntários com graduação em andamento em engenharia, o que levou muitos deles a não perceber os erros cometidos.

Os dados coletados durante o experimento apoiaram na avaliação das questões propostas neste trabalho, como discutido a seguir.

Q1: Quanto maior o nível de fadiga do participante, maior o número de erros cometidos.

Q2: Quanto maior o número de horas de privação do sono do participante que maior o número de erros.

Q3: Quanto maior o nível de atenção inerente (D2) e o nível de atenção demonstrado no experimento (desvio do olhar para o lado) pelo participante, menor o número de erros.

Q4: Quanto maior a carga de trabalho percebida pelo participante maior o número de erros.

Q5: Quanto maior o nível de atenção do participante, maior o tempo gasto na tarefa e menor o número de erros cometidos.

Nas tabelas 4-4 e 4-5 estão sintetizados os parâmetros analisados no experimento, relativos às Tarefas 01 e 02.

A ferramenta EPOC - Emotiv® fornece uma matriz com a totalização, para cada participante, do número de vezes que o participante piscou durante o trecho de vídeo analisado (durante uma sessão do experimento) e, o número de vezes que o participante desviou o olhar para o lado, perdendo o foco da tela onde realizava a tarefa.

A partir dos dados fornecidos foi calculado:

(a) O número de vezes que o participante piscou por minuto.

(b) O PERCLOS, que consiste no percentual do tempo da sessão durante o qual os olhos do participante se mantiveram fechados (número de amostras durante as quais os olhos dos participantes estavam fechados, dividido pelo total de amostras) (Sommer e Golz, 2010).

(c) O percentual do tempo durante o qual o participante desviou o olhar da tela (número total de amostras nas quais o participante desviou o olhar para um dos lados, dividido pelo total de amostras).

(d) A FMT diagnosticou o nível de cansaço acumulado durante a sessão do experimento.

(e) O questionário D2 determinou o nível de atenção inerente do participante.

(f) O questionário NASA-TLX registrou a percepção da sobrecarga de trabalho durante o experimento.

(g) Outro parâmetro ilustrado nas tabelas é o número de horas de privação de sono; com uma privação de 8 horas indicando que o participante não dormiu na noite anterior ao experimento e privação de 0 horas, indicando que obteve 98 horas de sono.

(h) Finalmente, é ilustrado o número de erros cometidos e detectados pela FAT.

Tabela 4-4 Resumo dos dados coletados para a Tarefa 1

	EPOC			FMT	D2	TLX	Nº de sono privado	Quant. de erros (FAT)
	Nº Piscada por Minuto	PERCLOS (%)	Olhando para o lado (%)	Nível de cansaço	Nível de atenção	Carga de trabalho		
P1	5	3,5	2,7	Alto	Normal	Baixa	8h	4
P2	*	*	*	Alto	Normal	Baixa	5h	7
P3	10	2,06	4,1	Baixo	Normal	Baixa	0h	1
P4	*	*	*	Baixo	Normal	Baixa	8h	3
P5	8	2,01	0,35	Baixo	Normal	Baixa	5h	0
P6	22	4,12	2,45	Baixo	Normal	Baixa	3h	3
P7	23	3,73	8,93	Baixo	Normal	Baixa	0h	2

*os dados foram extraviados.

Tabela 4-5 Resumo dos dados coletados para a Tarefa 2

	EPOC			FMT	D2	TLX		FAT
	Nº Piscada por Minuto	PERCLOS (%)	Olhando para o lado (%)	Nível de cansaço	Nível de atenção	Carga de trabalho	Nº de sono privado	Quant. de erros
P1	18	4,3	2,3	Baixo	Normal	Baixa	8h	0
P2	*	*	*	Baixo	Normal	Baixa	5h	1
P3	19	2,04	4,1	Baixo	Normal	Baixa	0h	2
P4	10	0,52	0	Baixo	Normal	Baixa	8h	4
P5	20	4,39	0,26	Baixo	Normal	Baixa	5h	0
P6	23	4,12	3,51	Baixo	Normal	Baixa	3h	1
P7	16	2,33	6,75	Baixo	Normal	Baixa	0h	4

Da análise dos dados apresentados nas Tabela 4-4 e Tabela 4-5, conclui-se que:

Q1: pode ser aceita, para a tarefa 01, dado que a FMT identificou um nível elevado de fadiga nos participantes que cometeram o maior número de erros, no grupo.

Q2: pode ser rejeitada, dado que o P05 mesmo tendo sido privado de 5 horas de sono obteve o melhor desempenho do grupo no aspecto tempo de execução das tarefas. Destaca-se que este resultado pode ser atribuído à sua experiência com jogos de computador. Ressalta-se também que o participante declarou ter o hábito de dormir tarde.

Q3: Não foi possível avaliar. No que diz respeito ao nível de atenção inerente, todos os participantes apresentaram níveis semelhantes e dentro da normalidade. Por outro lado, no que concerne o nível temporário de atenção, foi calculado o percentual do tempo que o participante desviou a atenção da tarefa, olhando para os lados. Para os participantes que cometeram o maior número de erros, não foi possível calcular o percentual porque o registro dos dados destes participantes foi perdido. Por outro lado, para os demais participantes foi observado que aqueles com o maior percentual de desvio da atenção, cometeram o maior número de erros.

Q4: pode ser rejeitada dado que todos os participantes consideraram a carga de trabalho percebida como baixa. Portanto este fator não influenciou o número de erros.

Q5: Pode ser rejeitada dado que o participante que menos cometeu erros foi aquele com menor experiência no uso do simulador e no entanto realizou as tarefas mais rapidamente.

5.1 Avaliação de treinamentos no ambiente SAGE e SIMULOP

Visando validar a aplicação da ferramenta FAT na avaliação de treinamentos realizados em outro ambiente de simulação a FAT foi aplicada no processamento de arquivos de *log* de treinamentos de operadores de subestação, ocorridos em uma empresa do setor elétrico. O treinamento foi realizado no ambiente do SAGE e SIMULOP. Os registros armazenados neste simulador foram disponibilizados pela empresa, ressaltando-se que um destes treinamentos ocorreu sob a observação da equipe do LIHM.

Para o processamento do arquivo de *log* foi desenvolvido um *parser*⁷ para filtrar os registros e armazenar as informações sobre a tarefa realizada no banco de dados da FAT. Por outro lado, foi obtida a documentação do planejamento do treinamento, no qual foram descritas as tarefas prescritas para o treinamento. A partir da comparação da tarefa prescrita com a realizada, a FAT gerou um diagnóstico com o resultado da avaliação do treinamento. Neste caso não foram coletados dados sobre o nível de fadiga dos participantes do treinamento, uma vez que o autor desta tese era apenas um observador, de modo a não interferir com os procedimentos realizados.

Como proposto nesta pesquisa, o método para avaliação do treinamento envolve a análise qualitativa e quantitativa do desempenho dos treinados. Assim, optou-se por realizar uma análise dos procedimentos adotados na empresa para avaliar o treinamento com o propósito de identificar as lacunas detectadas. A seguir é descrita a política de treinamentos na empresa e os níveis de treinamento.

- O treinamento de operadores de sistema é restrito ao ambiente do SAGE e SIMULOP.
- O treinamento de operadores de subestação se desenvolve de forma simulada, na sala de comando sobre os painéis; na sala de comando com o ambiente SAGE SIMULOP e, no pátio sobre os painéis dos equipamentos.

⁷ Um *parser* consiste em um trecho de código para fazer a leitura de um documento, identificando os elementos de sua estrutura e extraíndo as informações que serão utilizadas pelo programa.

- O treinamento denominado DRILL envolve operadores nos dois níveis, isto é, operadores de sistemas e de subestação.
- São treinados os operadores de sistema, os operadores de subestação e às vezes operadores do Operador Nacional de Sistemas (ONS).

A empresa utiliza uma ficha de planejamento na qual deve ser descrito o cenário de treinamento e conter detalhes: da ocorrência simulada, como ela deve ser resolvida e os papéis dos envolvidos com a simulação.

Observou-se que ao elaborar a ficha com a descrição do cenário nem todas as informações solicitadas a partir da ficha, são preenchidas pelos responsáveis na empresa. Por outro lado, as fichas não são armazenadas para consultas posteriores. Além do mais o detalhamento da tarefa prescrita é bem superficial.

Na empresa pesquisada, os treinamentos com operadores de subestação e de sistema não são realizados com muita frequência devido ao custo e a necessidade de mobilização dos responsáveis, os quais devido às muitas demandas por treinamentos realizam apenas o mínimo necessário para cumprir as exigências da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Também foram observadas várias simplificações no processo de avaliação dos resultados dos treinamentos.

Dado o objetivo do treinamento de replicar o ambiente real de trabalho, os operadores são treinados aos pares. Outra característica é a discussão dos resultados de cada dupla treinada com o conjunto de todos os operadores, o que impossibilita o reuso dos cenários de treinamento. Logo cada cenário é executado em apenas uma sessão na qual podem participar um; dois ou até três operadores. Portanto, o aprendizado só é avaliado em equipe e não individualmente. Sobretudo observou-se que o treinamento tem um caráter mais informativo do que formativo.

Devido ao sigilo exigido, as informações sobre o rendimento dos operadores em treinamento são apresentadas em grupo e de forma impessoal (sem citar nomes). Foram analisados dois treinamentos, um ocorrido em Dezembro de 2013 (que será denominado T01) e outro realizado em Outubro de 2014 (T02). Cada treinamento contou com dois cenários e cada cenário correspondeu a uma sessão.

5.1.1 Perfil dos participantes do treinamento no SIMULOP

Os participantes são funcionários da empresa, possuem formação técnica em eletrotécnica e são todos do sexo masculino, na faixa etária de 45 a 65 anos de idade. Esses operadores trabalham em turnos de 6 horas com folga de 12 horas.

O treinamento T01 ocorreu em uma subestação cuja equipe de operadores é composta de três indivíduos. Dois operadores participaram do treinamento, enquanto o terceiro não pode participar, pois estava no seu turno de trabalho.

No treinamento T02, a equipe era composta de 10 operadores, dos quais apenas 6 participaram do treinamento. Dois não compareceram ao treinamento e os outros dois estavam ocupados no turno de trabalho. A maioria dos participantes é experiente na função; alguns com quase trinta anos na operação da subestação. Apenas dois eram novatos por ocasião do treinamento, com menos de um ano de experiência na empresa e, na faixa etária entre 18 e 25 anos. Todos participaram de curso de formação na área de operação (proteções, disjuntores, transformadores e arranjos de sistema) e, na área de segurança do trabalho. Descrição da tarefa realizada no SIMULOP

O **primeiro treinamento** (T01) consistiu na execução de dois cenários. O cenário 01 (T1C1) consistiu na identificação de uma falha devido a um curto em um transformador e tinha como objetivo verificar o conhecimento do operador na atuação da proteção diferencial do transformador. Neste caso o transformador tinha uma disposição atípica, pois o disjuntor do lado primário fica fisicamente afastado do secundário. Também havia o objetivo de verificar o conhecimento do operador sobre os normativos da empresa. A dupla de operadores dispunha de 30 minutos para executar a tarefa prescrita para o treinamento. Os responsáveis (tutor e equipe) observaram o treinamento e teceram considerações sobre o desempenho da dupla.

O segundo cenário do treinamento 01 (T1C2) consistiu na identificação de uma falha a partir da análise das sinalizações e inspeção de uma barra em campo; além da caracterização da barra impedida e da análise das ações para transferência da barra principal para auxiliar. No simulador os operadores deveriam transferir a carga para a barra auxiliar. A dupla dispôs de 30 minutos para executar a tarefa prescrita no treinamento.

O **segundo treinamento** 02 foi realizado em outra instalação da empresa, e era composto por dois cenários, portanto com outro conjunto de operadores. O primeiro

cenário 01 (T2C1) consistiu no desligamento parcial da subestação, decorrente de um curto em uma linha de transmissão; porém a proteção da linha não atuou, induzindo o operador a achar que o erro era na barra principal da subestação. O objetivo do cenário de treinamento era localizar o curto; isolar o problema e reenergizar a subestação de acordo com o normativo. Diferentemente do primeiro treinamento que foi realizado para uma equipe de três operadores, nesta subestação o treinamento foi individual e o operador tinha 30 minutos para completar o treinamento.

No cenário 02 deste treinamento (T2C2) houve um desligamento parcial da subestação, desta vez decorrente de um curto no transformador; O objetivo deste cenário era identificar o curto, isolar e reenergizar o resto da subestação. Para tanto o operador necessitava demonstrar conhecimento do funcionamento das proteções associadas ao transformador. O operador teve 30 minutos para realizar a tarefa prescrita no cenário.

5.1.2 Discussão dos resultados do treinamento 02

No T1C1 os operadores excederam em 4 minutos o tempo para conclusão da tarefa. Os tutores observaram que os operadores não atenderam o normativo exigido pela empresa. Do ponto de vista da tarefa realizada no simulador os operadores deveriam isolar o equipamento atuando na abertura dos principais disjuntores que conectava o transformador à linha de transmissão, além de observar se algum destes disjuntores estava transferido; pois neste caso deveria abrir o disjuntor de transferência. A FAT não identificou nenhum erro nas ações executadas quando comparadas à tarefa prescrita; tendo portanto coincidido com o diagnóstico dos tutores. O não preenchimento da documentação, conforme previsto em normativo da empresa, foi justificado pelos operadores com o propósito de acelerar a realização da tarefa e do treinamento.

No T1C2, as ações realizadas no simulador, foram executadas com sucesso, isto é, não foi cometido nenhum erro, segundo o normativo para transferência da barra. O tutor citou que os operadores utilizaram os anexos normativos da forma recomendada. Por outro lado, o tempo de execução da tarefa também foi excedido, desta vez em 9 minutos.

No T2C1 pode-se observar, através da análise do *log* das ações, que o operador excedeu em 3 minutos o tempo previsto. Por outro lado, todas as ações executadas no simulador foram concluídas com sucesso. Estas consistiam em isolar (abrir seccionadora) da linha com defeito e seguir o processo de reenergização como previsto no normativo.

A única falha observada foi por ocasião da comunicação das proteções atuadas, para o centro regional, a qual foi incompleta.

No T2C2 o operador cometeu um erro ao executar uma ação errada sobre o objeto errado, pois desconhecia o funcionamento da proteção. Porém, o operador alegou que o erro foi decorrente em uma falha na simulação realizada, pois segundo ele uma proteção deveria ter atuado abrindo o disjuntor, mas este fato não foi sinalizado no SIMULOP, induzindo o erro. A falha na simulação pode ser considerada uma falha de planejamento do cenário, e pode ter ocorrido devido tempo escasso para preparar o cenário e à falta de comunicação entre o tutor e o responsável pela subestação. Estes problemas poderiam ser minimizados caso os tutores tivessem um repositório com todos os cenários já elaborados, os quais poderiam ser validados pelos responsáveis antes do treinamento.

Ao analisar o treinamento descrito, observam-se algumas limitações tais como: escassez de pessoal para elaborar treinamentos; a distância física entre as subestações dificulta a logística do treinamento, um problema facilmente solucionável se fossem utilizados apenas simuladores durante os treinamentos.

Neste trabalho foi pesquisado um normativo que descreve o planejamento do treinamento. Porém foram observadas algumas falhas tais como a inexistência da descrição da tarefa do ponto de vista das ações no SIMULOP. Outra limitação é que o registro do que ocorreu durante um treinamento está restrito à memória dos tutores não havendo registro em documentação que possa ser disponibilizada após o treinamento.

Não há na empresa um registro histórico dos objetivos e resultados dos treinamentos, exceto pelo nome dos responsáveis e quando foi o último treinamento. Não existe avaliação quantitativa dos treinamentos, apenas a análise qualitativa do tutor. A avaliação é realizada através de prova, a qual faz parte da certificação dos operadores, segundo regulamentação da ANEEL.

5.2 Discussões e considerações finais

O primeiro experimento, realizado na universidade de Strathclyde, contribuiu para a análise em um ambiente controlado, de acordo com as necessidades da pesquisa, Sua principal contribuição foi gerar dados fisiológicos para serem confrontados com as ações dos operadores. Porém apresentou a limitação por se tratar de um treinamento baseado em uma simulação, com usuários com perfis apenas semelhantes aos dos operadores de sistemas elétricos.

Neste trabalho a avaliação do desempenho se fundamentou no nível de cansaço, nível de atenção, desempenho na execução da tarefa (número de erros cometidos, tipos de erros, tempos de execução) e na carga de trabalho. A ponderação destes fatores sobre a avaliação dos resultados foi deixada para os tutores, pois considera-se que a relevância dos fatores varia de acordo com os propósitos da avaliação resultando em diagnósticos mais precisos. Além do mais, o tutor tem acesso aos dados do planejamento do treinamento e das tarefas envolvidas, conhecendo tipos de cenário, complexidade e o desempenho esperado para o treinamento.

A partir dos indicadores obtidos sugere-se a elaboração de uma rede neural com pesos e indicadores fornecidos pelos tutores para que a FAT possa apresentar resultados sobre o rendimento avaliado de forma mais precisa. Para isto seria necessário coletar mais dados sobre níveis e faixas de desempenho.

A título de exemplo poder-se-ia utilizar uma equação como aquela apresentada em (1), a qual representa a relação direta entre o número de ações corretas de peso maior (mais difíceis de fazer - classificadas pelo tutor durante a descrição da tarefa) e a a média final; porém também considerando que o cansaço e a atenção podem influenciar o desempenho. Assim, quanto maior o nível de atenção e menor o cansaço menor sua influência no resultado final.

$$\mu = \frac{\sum_{i=0}^n PAC_i - \sum_{i=0}^m PE_i}{\sum_{i=1}^{m+n} PT_i} * \frac{nc}{na} * (100\%) \quad (1)$$

onde:

μ : Média ponderada do desempenho;

PAC_i : Peso da Ação Correta;

PAE_i : Peso do Erro;

PT_i : Peso total das ações;

n : número de ações corretas;

m : número de ações erradas.

na : nível percentual de atenção (1 a 100, onde 1 corresponde a um alto nível de atenção e 100 a desatenção)

nc : nível percentual de cansaço (1 a 100, onde 1 corresponde a descansado e 100 a exausto)

Em relação aos dados fisiológicos observou-se que as ferramentas de análise de vídeo são menos intrusivas que aquelas que coletam EEG, portanto mais interessantes de usar. Por outro lado estão sujeitas às limitações do processo de captura, em termos da luminosidade ambiente e da qualidade da câmera, as quais podem influenciar no resultado. Além do mais em alguns casos o participante não fica bem enquadrado na imagem, pois durante a tarefa está consultando materiais longe da tela ou pode obstruir a gravação da imagem com movimentos da mão sobre o rosto. Ao analisar o resultado do primeiro experimento foi observado que a consulta a materiais, fora da tela do computador, prejudicava a captura das imagens do rosto, o que levou à realização de novas sessões de coleta quando o material foi disponibilizado no computador ao invés da versão impressa.

Por outro lado, a coleta dos sinais de EEG é intrusiva, tendo resultado no desconforto declarado por dois participantes (P06 e P07), os quais reclamaram durante o experimento. Porém os resultados facilitam a análise quantitativa, tais como o número de piscadas e o desvio do olhar para os lados, demonstrando um grande potencial na avaliação do foco dos participantes dos treinamentos. No entanto para ser integrado ao processo de avaliação proposto demandaria a adaptação dos sensores a um capacete, tornando-se menos intrusivo.

Por fim, a relevância dos dados obtidos para a avaliação do treinamento de operadores comprovou que a ferramenta FAT pode ser útil quando utilizada em conjunto com simuladores de natureza diferente e que pode ser útil no planejamento de treinamentos, pois demanda o detalhamento das tarefas prescritas. A limitação na aplicação da FAT no ambiente de trabalho real de uma subestação deveu-se à impossibilidade de avaliar o estado de fadiga dos participantes durante o treinamento na empresa.

Observou-se também que a avaliação do treinamento na empresa não explora o registro de log, dado que não aborda critérios quantitativos. Vale também salientar que uma avaliação do treinamento deve ser mais abrangente do que a análise do log, pois há aspectos do comportamento do operador ao interagir diretamente com os equipamentos, além da comunicação entre operadores; que não são ali registrados. Há ainda a análise da conformidade das ações realizadas pelos operadores com os normativos da empresa que não são registrados, a exemplo da exigência do preenchimento de documentos do planejamento do cenário de treinamento, listando proteções atuadas e marcando no

diagrama unifilar onde ocorreu a falha. O descumprimento do normativo dificulta a localização do erro cometido pelos treinados.

Um dos desafios do uso da FAT na avaliação do treinamento consistiu em compreender o formato do arquivo de histórico gerado pelo simulador SAGE / SIMULOP a fim de elaborar o *parser*. Outro desafio consistiu em compreender a descrição do cenário e particularmente da tarefa prescrita, muitas vezes deixada incompleta durante o planejamento na empresa. Finalmente, uma dificuldade encontrada no tratamento do registro das atividades realizadas pelo operador no SIMULOP foi a defasagem do relógio do simulador (RTC) em relação ao horário do treinamento.

Capítulo 6 CONCLUSÕES E PROPOSIÇÃO DE TRABALHOS FUTUROS

O uso de simuladores no treinamento de operadores atua de forma preventiva, antecipa o tempo de capacitação e reduz perdas, por responder ao aumento da demanda na operação. Pode ser adaptado a diferentes áreas de operação do sistema elétrico (geração, transmissão, distribuição) e agrega qualidade ao serviço.

Apesar do grande número de simuladores disponíveis ao treinamento são escassas as ferramentas que tratam o resultado das ações do operador durante o treinamento. Poucas ferramentas reconhecem a ocorrência de erros, porém, na bibliografia consultada, não foi encontrada nenhuma que oferecesse uma classificação dos tipos de erros detectados com vistas a chamar atenção para sua gravidade, como é feito neste trabalho.

Neste trabalho foi proposta a avaliação do treinamento de operadores de sistemas elétricos, realizado em simuladores, tanto do ponto de vista qualitativo, como já é feito atualmente pelos tutores, quanto quantitativo. Para apoiar este último, propõe uma ferramenta capaz de analisar o histórico das ações realizadas durante uma atividade prescrita (*log*) que tenha sido armazenado em um banco de dados do simulador utilizado.

A avaliação quantitativa impõe uma sobrecarga de trabalhos aos tutores responsáveis pela elaboração e aplicação do treinamento, devido ao grande número de treinamentos exigidos na formação de operadores; adaptação a mudanças do sistema e avaliações de competência ao longo de sua atuação na empresa. A ferramenta proposta neste trabalho reduz a carga sobre os tutores na medida em que realiza de forma automática a análise do desempenho dos operadores, permitindo uma avaliação mais ágil e abrangente, que pode resultar em novos treinamentos mais específicos, voltados para necessidades individuais ou da equipe de operadores de uma instalação.

Para avaliar o desempenho dos operadores de forma mais uniforme foram investigados os níveis de atenção e de cansaço durante o treinamento. Esta investigação também contribui para a compressão das condições que resultam no erro humano durante a realização de tarefas sob pressão de tempo e sob elevados níveis de fadiga.

A apresentação do histórico dos treinamentos individuais e coletivos fornece ao tutor elementos de planejamento que vão muito além das fichas documentais utilizadas atualmente (Ribeiro Junior e Alves, 2010). Na FAT, dados históricos permitem comparar

a evolução do rendimento de um individuo ao longo de vários treinamentos, e do mesmo individuo face aos demais operadores participantes de um mesmo treinamento. Permite também avaliar o rendimento de um operador com o próprio rendimento em treinamentos anteriores, destacando pontos que precisam ser tratados de forma individual. No entanto para que a FAT venha a ser utilizada em toda a sua capacidade é necessário o investimento na descrição das tarefas prescritas e dos objetivos de um treinamento, o que atualmente ainda não é feito de forma detalhada nas empresas.

6.1 Conclusões

A identificação do nível de fadiga, ainda é limitada pelas razões descritas e particularmente nas condições de monitoramento no ambiente real de trabalho, relativas ao nível de iluminação, posturas do participante, etc. A análise dos resultados obtidos com a ferramenta de detecção de fadiga a partir da análise de vídeo constatou-se que o seu algoritmo só funciona para casos extremos de fadiga. No caso do experimento realizado, onde as atividades são curtas e dinâmicas, a ferramenta não se mostrou adequada para todos os participantes, apesar de ter sido satisfeita a exigência de foco do participante na câmera durante a atividade. Estes problemas também foram encontrados no uso do FaceReader® que foi utilizado em caráter apenas experimental, pois não dispúnhamos da licença de uso.

Do ponto de vista da detecção e registro do estado do participante realizado pela ferramenta EPOC, da empresa Emotiv, constatou-se um grande potencial para estimar o nível de cansaço e atenção, o qual foi constatado pelas ferramentas aplicadas na psicologia do trabalho. A principal restrição ao seu uso em um ambiente de trabalho é o caráter intrusivo que interfere com o conforto e mobilidade de seus usuários, devido à limitação no alcance entre o transmissor e receptor. Portanto, na sua configuração atual poderia ser utilizado apenas em ambientes de pesquisa. Por outro lado, há dispositivos que monitoram um número menor de pontos cujo uso em ambiente de trabalho ainda está por ser investigado.

As principais contribuições deste trabalho são:

- a ferramenta FAT fornece diagnósticos de treinamento específicos a partir da descrição estruturada das tarefas prescritas e realizadas;
- a implementação de algoritmos com base na tipologia do erro humano ;

- a possibilidade de realizar avaliações de treinamento de operadores a *posteriori*, a partir da análise do arquivo de *log*; oferecendo maior flexibilidade à equipe responsável pelos treinamentos nas empresas;
- a possibilidade dos operadores consultarem a evolução do seu rendimento ao longo do tempo; de forma absoluta e em relação ao grupo, permitindo aumentar a motivação para repetir treinamentos e atingir melhores resultados.

Através da ferramenta é viabilizado o armazenamento dos resultados dos treinamentos de cada operador o que facilita as consultas posteriores sobre quais foram os treinamentos já realizados e como foi o rendimento em cada um deles. Com o uso da ferramenta de avaliação pode-se observar uma redução na carga de trabalho do tutor durante o treinamento, pois os treinamentos rotineiros podem ser realizados pelos operadores sem necessariamente a presença de um tutor, tudo isto visando aumentar a eficácia do treinamento dado aos operadores.

Este trabalho contribuiu na construção de uma ontologia atualmente em elaboração no grupo de pesquisa conceituando os termos específicos utilizados na avaliação de treinamento de operadores. Por sua vez, a ontologia serviu para balizar os termos adotados na representação, análise e diagnóstico de treinamentos e para fazer inferências. Além disto, foi possível validar partes da ontologia a partir de sua utilização neste trabalho.

Do ponto de vista do protocolo experimental foram realizadas adaptações para uso no contexto de treinamento, incluindo uma nova ferramenta para análise da fadiga do participante de um experimento (FMT).

Os desafios confrontados durante a pesquisa destacam-se:

1. A definição de uma estrutura de planejamento, execução e análise do treinamento.
2. Construção de algoritmos para identificar e classificar os diferentes tipos de erro descritos na tipologia de erros, devido à forte semelhança entre alguns tipos. Um exemplo deste problema é a diferença entre “ação inapropriada e sem relação” e “ação errada sobre o objeto correto”, pois em ambos os casos a ação é inapropriada. Porém a “ação inapropriada e sem relação” difere da “ação errada sobre o objeto correto” dado que neste último caso o operador identifica o objeto adequadamente, porém não sabe operá-lo. Este problema de conceitos foi

minimizado com a representação ontológica discutida no grupo de pesquisa a qual esclareceu os conceitos ambíguos associados à classificação dos erros.

3. O acesso aos treinamentos de operadores de empresas do setor é um grande desafio. Este foi o caso do simulador de treinamento da Universidade de Strathclyde que devido a questões burocráticas, foi substituído pelo SimuLIHM nos experimentos ali realizados.
4. O recrutamento de participantes voluntários para os experimentos, os quais concordassem com a privação do sono, também representou uma dificuldade; principalmente porque não havia incentivo para participação, exceto contribuir generosamente para esta pesquisa.
5. A análise dos dados oriundos de diferentes ferramentas, os quais foram sincronizados para permitir a análise comparativa (vídeo, EEG, arquivo de log).

Este trabalho abre assim perspectivas para a continuidade desta pesquisa envolvendo profissionais das áreas de engenharia, psicologia, segurança do trabalho e computação.

Dado ao sigilo relativo aos dados da empresa do setor elétrico estes não estão disponíveis, no entanto os dados obtidos no primeiro experimento, no contexto acadêmico estão disponíveis à comunidade.

6.2 Sugestões de Trabalhos futuros

Em relação à ferramenta FAT, sugerem-se novas funcionalidades a exemplo de um tradutor (*parser*) automático para comunicação com o banco de dados do simulador, no qual o arquivo de *log* está armazenado. Propõe-se também adicionar à ferramenta FAT a opção de reproduzir o treinamento (*playback*) de um operador para apoiar a análise do tutor. Sugere-se ainda uma opção para o operador justificar seu desempenho e níveis de fadiga observados, ou contestar o resultado apresentados. E, a adoção de técnicas de inteligência artificial para extrair padrões de desempenho e assim gerar automaticamente novos cenários de treinamento.

Do ponto de vista da ferramenta (FMT), foram observadas limitações resultando em sugestões para melhorar o algoritmo de análise da fadiga incluindo outros aspectos da análise das características da face atualmente restrita à análise dos olhos do indivíduo.

Dado que a carga de trabalho, no primeiro experimento foi artificial sugere-se utilizar fatores atenuantes do índice de desempenho proporcionais aos níveis de fadiga e investigar meios para aumentar o nível de atenção do operador. Sugere-se também avaliar o efeito da fadiga de um indivíduo sobre seu desempenho em diferentes sessões (dias /horários), uma vez que o efeito da fadiga pode variar para um mesmo indivíduo, além de realizar sessões no turno da noite pois é comprovado que o desempenho cai neste turno (Wang et al, 2011).

Ao utilizar o EPOC (EEG) sugere-se analisar outros parâmetros tais como os níveis de: entusiasmo, tédio e, de esforço cognitivo durante a realização da tarefa, os quais não foram tratados neste trabalho.

Durante o teste foi observado que a comunicação na equipe é um aspecto importante, então se sugere estender a avaliação para analisar a qualidade da comunicação entre operadores, durante a realização do treinamento a partir da análise do áudio gravado durante a sessão, de acordo com normativos da empresa. Este é um aspecto relevante dado que falhas de comunicação podem desencadear um conjunto de erros.

Por fim, propõe-se utilizar o registro da evolução de operadores ao longo de treinamentos considerando o tempo de detecção e resolução de problemas.

Referências bibliográficas

- Abbad, Gardenia da S. 1999. "Um Modelo de Avaliação Do Impacto Do Treinamento No Trabalho - IMPACT". *Tese de doutorado*. Brasília: UNB.
- Abreu, Iran Pereira de, Marcio Barbosa Gayoso, e Paulo Cesar Barbosa. 2012. "Treinamento de Operadores e a Segurança aa Operação Do SIN - A Abordagem Da CTEEP." *XII EDAO –Encontro para debates de assuntos de operação*, Novembro.
- Aguiar, Y.P.C., and Maria de F. Q. Vieira. 2009. "Proposal of a Protocol to Support Product Usability Evaluation. In: Fourth IASTED International Conference Human-Computer Interaction." In *Proceedings of Fourth IASTED International Conference Human-Computer Interaction*, 282–89. St. Thomas, US Virgin Islands.
- Bezerra, H., G. C. Barroso, C. Giovanni, R. F. Sampaio, R. P. S. Leão, and J. M. Soares. 2007. "Sistema Simulador Para Treinamento de Proteção E Operação de Sistemas Elétricos." In *Anais de Da Conferência Internacional Em Educação Em Engenharia E Computação*.
- Borges-Andrade, Jairo E., Gardênia da S. Abbad, Luciana Mourão, and Colaboradores. 2006. *Treinamento, Desenvolvimento E Educação Em Organizações E Trabalho*. São Paulo: Artmed Editora S.A.
- Brickenkamp, R. 2012. "Test d'Attention Concentré." In *Hogrefe-Verlag GmbH & Co. KG, Göttingen*. <http://www.hogrefe.fr/site/?/test/show/6/>.
- Cootes, Timothy F., Gareth J. Edwards, and Christopher J. Taylor. 2001. "Active Appearance Models." *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on* 23 (6): 681–85. doi:10.1109/34.927467.
- Costa, Vanderlei S. da, Edson Bueno, and João C. Bollini. 2010. "A Reestruturação Da Operação Na Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista - CTEEP." In *Anais Do X EDAO*. São Paulo.
- Costa, Jorge F. A.; Vieira, Maria F. Q.; Gurjao, Edmar C.. "Avaliação do Limite Operacional de um Simulador para Treinamento de Operadores em Ambiente Distribuído". In: *Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos SBSE2014*, 2014, Foz do Iguaçu. Anais do Simposio Brasileiro de Sistemas Elétricos, 2014, 2014.
- Dudley, Trevor, Piet de Villiers, Werner Bouwer, and Robert Luh. 2008. "The Operator Training Simulator System for the Pebble Bed Modular Reactor (PBMR) Plant." *Nuclear Engineering and Design*, 238 edition.
- Embrey, D. 2010. "Task Analysis Techniques. Human Reliability Associates LTDA."
- Emotiv. 2013. "EPOC." <https://emotiv.com/epoc.php>.
- Faria, Luiz, António Silva, Zita Vale, and Carlos Ramos. 2009. "An Intelligent Tutoring System for Operators' Training in Power System Control Centres." In *ICAART*

2009 - *Proceedings of the International Conference on Agents and Artificial Intelligence*. Porto, Portugal.

- Focking, Gerson F., Maria de F. Q. Vieira, and Jose S. R. Neto. 2012. “Modelo Conceitual E Ambiente Virtual Para Treinamento Na Operação de Sistemas Elétricos.” In *Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos, 2012*. Goiânia - GO.
- Guerrero, Claudia V.S.; Vieira, Maria F. Q.; Mercantini, Jean M.; Santoni, Charles. “A process for Human Centered Modelling of Incident Scenarios”. *USAB 2008, LNCS 5298*. 1ed. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2008, v. 1, p. 439-458.
- Hart, S.G., and L.E. Staveland. 1988. “Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research.” In P.A., Hancock, & N., Meshkati (Eds.), *Human Mental Workload*. Elsevier Science Publisher B.V, 139–83. Amsterdam.
- Ibrahim, Masrullizam Mat, John J Soraghan, and Lykourgos Petropoulakis. 2012. “Non-Rigid Eye Movement Tracking and Eye State Quantification.” In *Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP), 2012 19th International Conference on*, 280–83. Vienna.
- IEC: International Electrotechnical Commission “*IEC 61970 -Energy management system application program interface (EMS-API) - Part 1: Guidelines and general requirements*”, 2005.
- ISO, ABNT. “NBR ISO 10015. Gestão Da Qualidade - Diretrizes Para Treinamento.” ABNT–Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2001.
- ISO, ABNT. “ABNT NBR ISO 9241-11:2011: Requisitos Ergonômicos Para o Trabalho com Dispositivos de Interação Visual.”, 2011
- Krey, Neil C. 2007. *Technologically Advanced Aircraft - Safety and Training*. Frederick, Maryland: AOPA Air Safety Foundation.
- Leite, Carlos R. R., João J. R. de Oliveira, and Jaldemir G. de Oliveira. 2007. “O Uso de Simuladores No Treinamento de Operadores Da CHESF Como Ferramenta Para Disseminação de Conhecimentos Na Operação Do Sistema Elétrico.” In *Anais Do II Seminário Internacional*. Rio de Janeiro.
- Lopes, E. da S., E. Cruziniani, A. J. de Araujo, and P. C. da Silva. 2008. “Avaliação Do Treinamento de Operadores de Harvester Com Uso de Simulador de Realidade Virtual,” 2, 32: 291–98. doi:<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622008000200012>.
- Martinie, Célia, Philippe Palanque, David Navarre, Marco Winckler, and Erwann Poupart. 2011. “Model-Based Training: An Approach Supporting Operability of Critical Interactive Systems: Application to Satellite Ground Segments.” In *Proceeding of EICS'11*.
- Melo, Igor S. M., Manoel R. Filho, Caio C. Moreira, Pebertli N. A. Barata, and Jefersson M. Cury. 2012. “Utilizando Instruções Técnicas Virtuais No Auxílio Do Treinamento de Mantenedores E Operadores de Uma Subestacao Elétrica.” *XII EDAO – Encontro Para Debates de Assunto de Operação*, November.

- Michaelis. 2014. “Michaelis Escolar Língua Portuguesa.”
- Miranda, Antonio R. C., Tarcísio V. Vieira, and Jaldemir Oliveira. 2008. “Experiência Da CHESF Com Treinamentos Simulados de Operadores, Através Da Utilização de Simuladores Interligados E Simulação de Manobras Reais Nas Instalações E Centros de Operação.” In *Anais Do X EDAO*. São Paulo.
- Moreira, C. C., Igor S. M. Melo, Ribeiro Filho, M., J. M. Cury, S. L. Zaghetto, and L. O. S. Lima. 2012. “Sistema de Treinamento Virtual Para Operadores E Mantenedores de Uma Subestação Elétrica.” In *10th IEEE/IAS International Conference on Industry Applications*. Fortaleza.
- Nascimento, José A. do, Emmanuel J. Fernandes, Luiz H. S. C. Barreto, Marcio B. Nascimento, Tomaz N. Cavalcante Neto, and Paulo R. Maisonnave. 2008. “Simulador Interativo de Usinas Termelétricas de Ciclo Combinado Para Treinamento de Operadores E Mantenedores.” In *Anais Do X EDAO*. São Paulo.
- Nascimento Neto, José A. Do ; Vieira, Maria F. Q. ; Santoni, Charles ; Scherer, D. “Proposing Strategies to Prevent the Human Error in Automated Industrial Environments”. *Lecture Notes in Artificial Intelligence (LNAI)*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2009, v. 5638, p. 279-288
- Noldus. 2013. “Facereader.” <http://www.noldus.com/human-behavior-research/products/facereader>.
- Nunes, Eunice P. dos S., Fátima L. S. Nunes, and Romero Tori. 2011. “Avaliação Da Aquisição de Conhecimento Em Ambientes Virtuais de Aprendizagem 3D Para Treinamento Médico.” In *Anais Do CSBC 2011*. Natal-RN.
- Oliveira, Ana M. B. de. 2008. “Avaliação Da Fadiga Em Operadores de Sala de Controles de Subestações Elétricas.” Dissertação em Engenharia de Produção, João Pessoa: UFPB.
- Oracle. 2012. “Java.” <http://www.oracle.com/technetwork/java/javase/downloads/jdk8-downloads-2133151.html>.
- Pagnussat, M. B., E. da S. Lopes, P. C. da Silva, C. C. C. Diniz, and L. F. Watzlawick. 2014. “Desempenho de Operadores de Diferentes Idades No Treinamento Com Simulador Virtual Forwarder.” In *Enciclopédia Biosfera*, 18th ed., 10:3842. Centro Científico Conhecer - Goiânia.
- Quality Training Systems. 2012. “Training and Performance Support Services for the Electric Utility Industry.” <http://www.qualitytrainingsystems.com>.
- Ribeiro Júnior, Enéas M., and Ândelo A. S. Alves. 2010. “Desenvolvimento de Método Para Aperfeiçoamento de Operadores Através Da Imersão Em Ambiente de Simulação.” In *Anais Do XI EDAO*. Florianópolis - SC.
- Sampaio, Lanier P. C. B., Silva, Kleber M., Braga, Saulo C. R. B., Ferreira Filho, Anésio de L., Berger, Pedro de A., Nascimento, Francisco A. de O., Jacobi, Ricardo P., e Brandão, Pedro G.. 2012. “Jogos 3D Para a Operadores de Instalações E O Problema Da Vela.” In *Anais Do XII EDAO*. Brasília - DF.

- Scherer, Daniel, Maria de F. Q. Vieira, and Jose A. do Nascimento Neto. 2010. "Human Error Categorization: An Extension to Classical Proposals Applied to Electrical Systems Operations." *Human-Computer Interaction: Springer Boston*, 234–45.
- Sigari, Mohamad-Hoseyn, Mahmood Fathy, and Mohsen Soryani. "A Driver Face Monitoring System for Fatigue and Distraction Detection." *International Journal of Vehicular Technology* 2013: 11. doi:http://dx.doi.org/10.1155/2013/263983.
- Silva, Victor N. A. L. da, Ricardo Linden, Guilherme F. Ribeiro, Maria de F. L. Pereira, Rogério S. Lannes, e Celso R. Standke. 2009. "Simuladores Para Treinamento de Operadores de Sistemas e de Instalações Do Setor Elétrico." In *Anais Do XIII ERIAC*. Puerto de Iguazú - Argentina.
- Silva Netto, Ademar V. da, and Maria de F. Q. Vieira. 2010. "Virtual Reality Training Environment a Proposed Architecture." In *IEEE International Conference on Virtual Environments, Human-Computer Interfaces and Measurement Systems*. Taranto - Italy.
- Silva Netto, Ademar V. da, Maria de F. Q. Vieira, and Sergio E. C. Dias. 2012. "Estrutura de Referência Para Elaboração de Cenários de Treinamento a Operação de Sistemas Elétricos." In *Anais Do IV SBSE*. Goiânia - GO.
- Sommer, David, and Martin Golz. 2010. "Evaluation of PERCLOS Based Current Fatigue Monitoring Technologies." In *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*. doi:10.1109/IEMBS.2010.5625960.
- Spanel, U, and M Kreutz. 2002. "Simulator Based Operator Training - Ensuring Quality of Power System Operation." *Power System Management and Control*, April, 371–76.
- Torres Filho, Flávio, Raffael C. Costa, and Maria de F. Q. Vieira. 2011. "Ambiente Para O Treinamento de Operadores Em Painéis E Supervisório Apoiado Por Um Módulo Tutor." In *Anais Do X Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente, SBAI 2011*. São João del-Rei - MG.
- Torres Filho, Flávio, and Maria de F. Q. Vieira. 2012. "Abordagem Ontológica Para Modelagem Da Ihm de Subestações Elétricas." In *Anais CBA 2012*, 52–59. Campina Grande - PB.
- Vieira, Maria F. Q.; Nascimento Neto, José A. do ; Scaico, A. ; Santoni, Charles; Mercantini, Jean M. 2010. A Model Based Operator Training Simulator to support Human Behavior Studies. *Transactions of the Society for Computer Simulation*, v. 86, p. 41-51.
- Viola, Paul, and Mike Jones. 2004. "Robust Real-Time Face Detection." In , 137–54.
- Wang, Qiong, Huan Wang, Chunxia Zhao, and Jingyu Yang. 2011. "Driver Fatigue Detection Technology in Active Safety Systems." *Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering (RSETE)*, 2011 International Conference on, June, 3097–3100. doi:10.1109/RSETE.2011.5964969.

Wright, Peter, Bob Fields, and Michael Harrison. 1994. "Deriving Human-Error Tolerance Requirements from Tasks." In *Proceedings, ICRE '94*. Colorado.

Apêndice A. Modelo do banco de dados da FAT

Este Apêndice apresenta o modelo de dados da FAT, no formato de um diagrama Entidade Relacionamento (ER). Inicialmente, na Figura A-1, é apresentada a estrutura do modelo com os dados utilizados pelo Módulo de Avaliação: informações sobre o participante, número de erros e acertos, número da sessão, avaliação de fadiga e atenção, desempenho estimado, tempo gasto, local do treinamento.

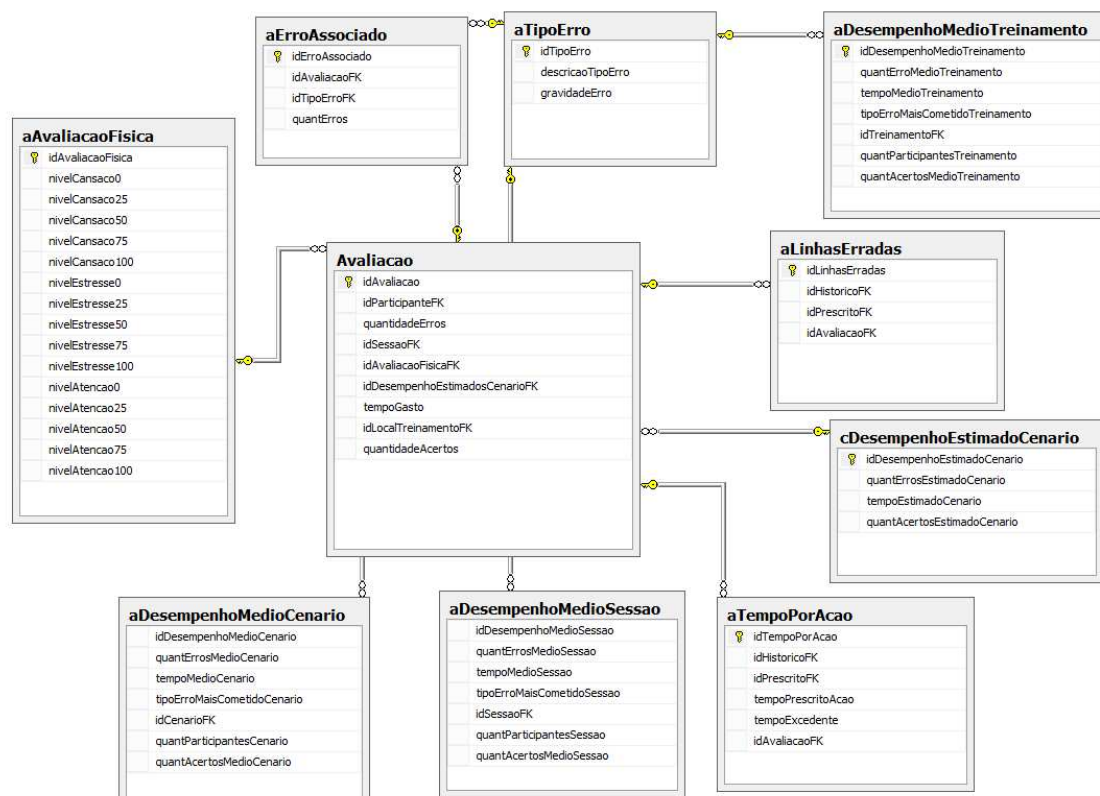


Figura A-1 Tabelas relacionadas ao Módulo de Avaliação

Na Figura A-2, é apresentado o diagrama ER relacionado aos dados do Módulo de histórico da FAT. Neste conjunto de tabelas são armazenadas informações sobre o cenário, a sessão, as ações executadas pelo operador durante o treinamento: nome do objeto acionado; ação executada; estado do objeto antes e depois da execução da ação; local onde foi realizada a operação e o instante quando ocorreu a ação.

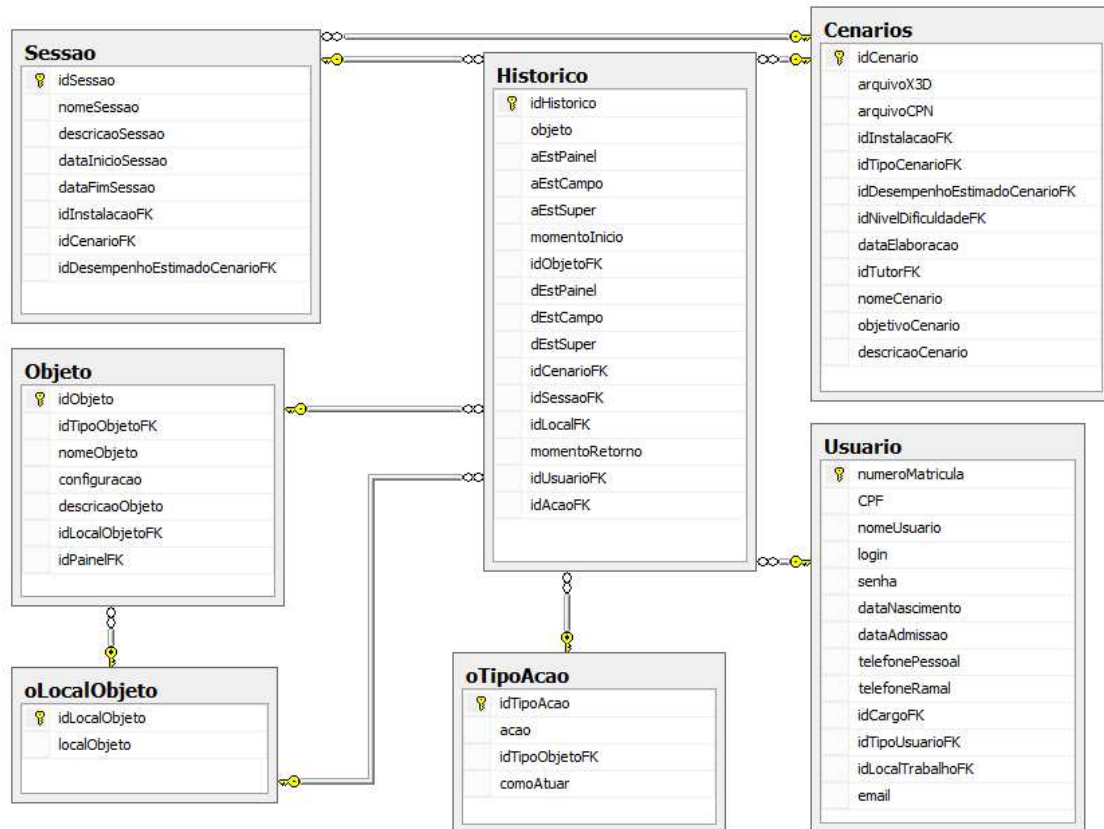


Figura A-2 Módulo do histórico

Na Figura A-3 é ilustrado o diagrama ER do Módulo do objeto, o qual representa as informações sobre painéis, instalações e objetos (tipo de objeto; tipo de ação; estado dos objetos, local e alarmes associados).

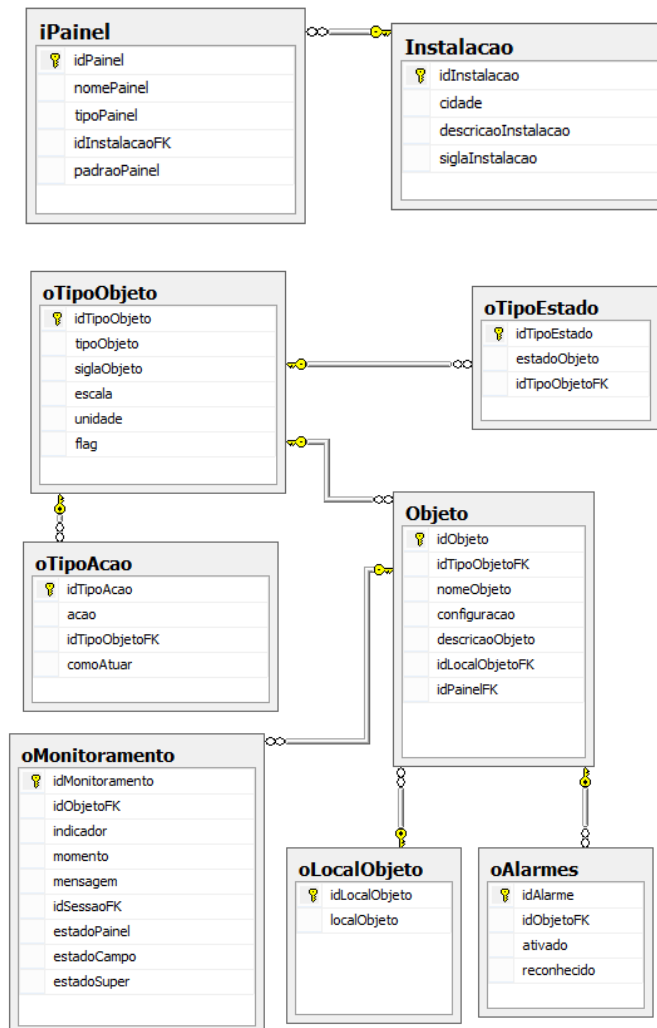


Figura A-3 Diagrama ER do modelo de dados do Módulo objeto

Na Figura A-4 é ilustrado o diagrama ER com o modelo de dados do Módulo participantes, que representa as informações sobre categorias de participantes de um treinamento (operador, observador ou tutor) e observações sobre as sessões.

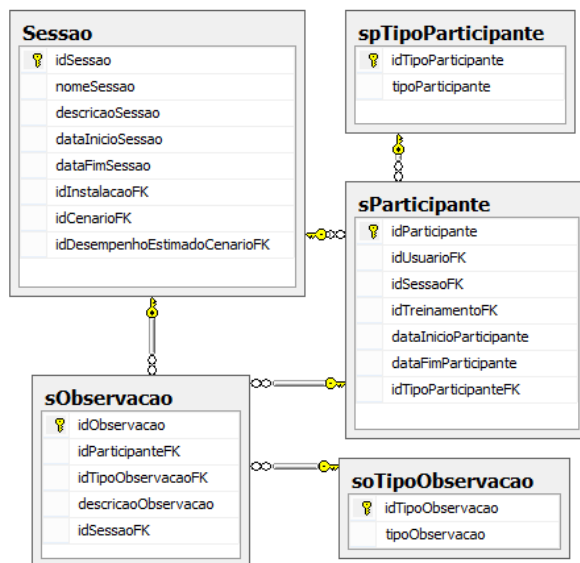


Figura A-4 Módulo dos participantes

Na Figura A-5 é ilustrado o diagrama ER com o modelo de dados do Módulo participantes, que representa as informações sobre o participante (formação, cargo, experiência no cargo, local de trabalho, tipo de usuário e dados pessoais).

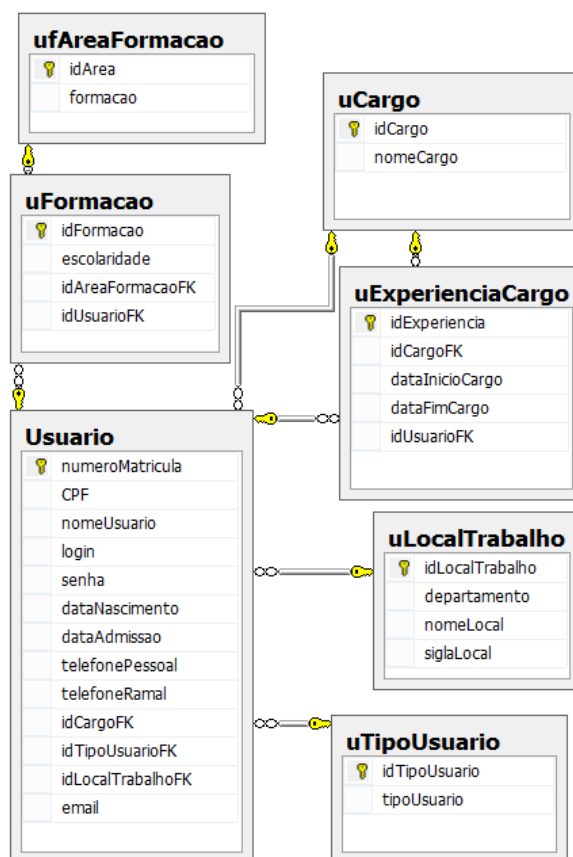


Figura A-5 Módulo do participante (usuário)

Na Figura A-6 é ilustrado o diagrama ER com o modelo de dados do Módulo das atividades prescritas, que representa as informações sobre as atividades que devem ser feitas pelos operadores. Esses dados estão associados ao cenário de treinamento.

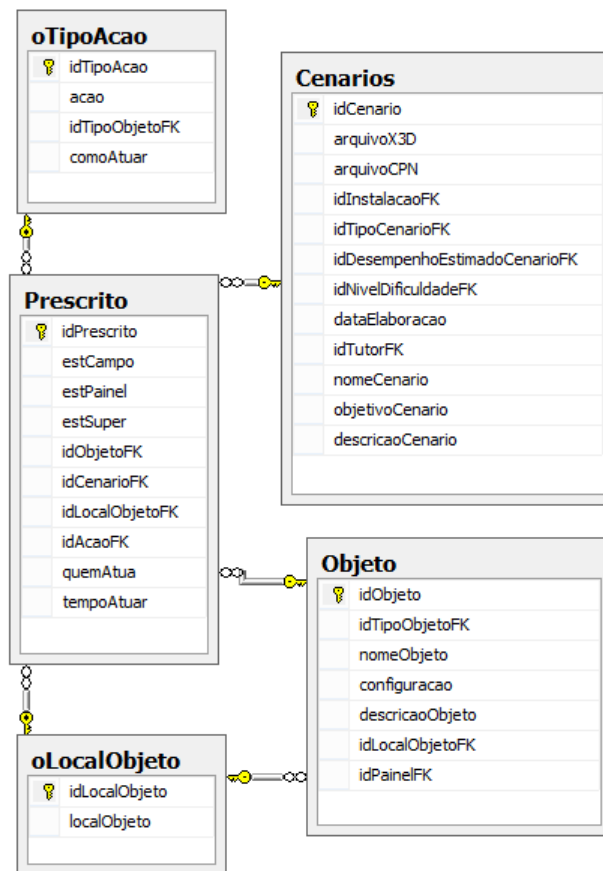


Figura A-6 Módulo das atividades prescritas

Na Figura A-7 é ilustrado o diagrama ER com o modelo de dados das informações que devem conter um treinamento, dentre eles a temática, o calendário de atividades com planejamento de elaboração, os recursos que serão utilizados, o tipo do treinamento, os pré requisitos, a descrição, objetivo, tempo estimado de duração e nível de dificuldade do treinamento.

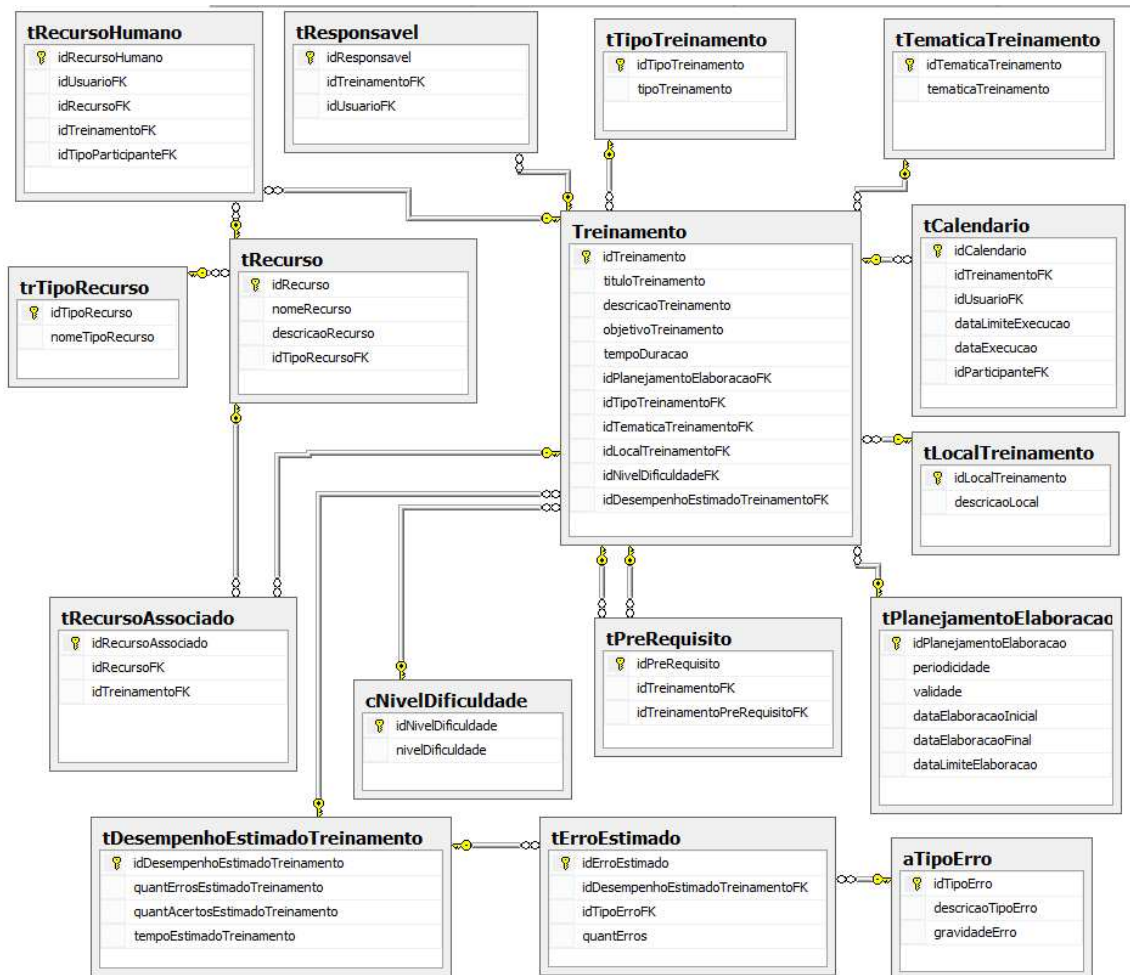


Figura A-7 Módulo das informações de um treinamento

Apêndice B. Questionário Pré-teste - Perfil do Usuário

Informações Gerais			
1.	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="border: none; width: 60%; padding: 5px;">Nome</td> <td style="border: none; width: 40%; padding: 5px;">Idade</td> </tr> </table>	Nome	Idade
Nome	Idade		
2.	Você é: <input type="checkbox"/> Destro <input type="checkbox"/> Canhoto <input type="checkbox"/> Ambidestro		
3.	Você usa lentes corretivas? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não		
Competências e Conhecimentos			
4.	Qual a sua formação? <input type="checkbox"/> Estudante de <input type="checkbox"/> Engenheiro Engenharia Elétrica Eletricista <input type="checkbox"/> Outra? _____		
5.	Você já utilizou algum sistema para ensino ou treinamento? <input type="checkbox"/> _____ Sim. <input type="checkbox"/> Não Qual(is)? _____		
6.	Você já utilizou o SimuLIHM em outra ocasião? <input type="checkbox"/> _____ Sim. Quantas vezes? _____ <input type="checkbox"/> Não		
7.	Qual o seu grau de conhecimento de sistemas elétricos <input type="checkbox"/> Nenhum <input type="checkbox"/> Básico <input type="checkbox"/> Intermediário <input type="checkbox"/> Avançado		
Condições Físicas			
8.	Quantas horas normalmente você dorme por noite? <input type="checkbox"/> Menos de 3 <input type="checkbox"/> Em torno de <input type="checkbox"/> Mais de 9 horas 5hs <input type="checkbox"/> Em torno de 8hs horas		
9.	Quantas horas você dormiu na noite passada?		

	<input type="checkbox"/> Sem dormir <input type="checkbox"/> Em torno de 3hs <input type="checkbox"/> Em torno de 5hs <input type="checkbox"/> Em torno de 8hs <input type="checkbox"/> Mais de 9 horas
10	Como você se sente hoje?
	<input type="checkbox"/> Descansado <input type="checkbox"/> Um pouco cansado <input type="checkbox"/> Cansado <input type="checkbox"/> Muito cansado
11	Em relação a sua concentração você considera que, se concentra:
	<input type="checkbox"/> com facilidade <input type="checkbox"/> mais precisa de tempo e silencio <input type="checkbox"/> só em atividades que gosta <input type="checkbox"/> nunca de concentra

Solicitamos que nos informe seus contatos:

Endereço de email: _____

Número de telefone: _____

Apêndice C. Apêndice E - Questionário Pós-Teste

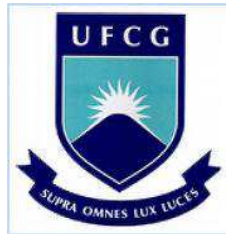
Usuário e o Produto					
12.	Eu gostaria muito de utilizar o produto para treinamento				
	() Concordo fortemente	() Concordo	() Nem concordo, nem discordo	() Discordo	() Discordo fortemente
13.	O nome dos menus, botões e abas não condiz com suas funcionalidades.				
	() Concordo fortemente	() Concordo	() Nem concordo, nem discordo	() Discordo	() Discordo fortemente
14.	Eu obtive resultados inesperados ao interagir com determinados botões ou abas.				
	() Concordo fortemente	() Concordo	() Nem concordo, nem discordo	() Discordo	() Discordo fortemente
Navegação e uso do produto					
15.	Conseguí me locomover dentro do ambiente para os locais desejados				
16.	A aba para identificar o próximo passo foi extremamente útil				
17.	Tive muita dificuldade para interagir com os objetos				
18.	Não consegui distinguir os sinais sonoros (por exemplo, se era telefone ou alarme)				
19.	Conseguí ler todos os mostradores e				

20.	Perdia muito tempo tentando identificar os alarmes visuais

Em relação a tarefa executada	
21.	Eu achei extremamente cansativa
	() Concordo fortemente () Concordo () Nem concordo, nem discordo () Discordo fortemente () Discordo fortemente
22.	Mantive a atenção durante toda a execução da tarefa
	() Concordo fortemente () Concordo () Nem concordo, nem discordo () Discordo fortemente () Discordo fortemente
23.	Cheguei a cochilar ou “pescar” durante o treinamento
	() Concordo fortemente () Concordo () Nem concordo, nem discordo () Discordo fortemente () Discordo fortemente
24.	Em relação a sua concentração você considera que, se concentra:
	() Concordo fortemente () Concordo () Nem concordo, nem discordo () Discordo fortemente () Discordo fortemente
25.	Durante o toque do telefone me perdi na tarefa
	() Concordo fortemente () Concordo () Nem concordo, nem discordo () Discordo fortemente () Discordo fortemente

Obrigado pela atenção

Apêndice D. Planejamento do experimento com o SimuLIHM



Universidade Federal de
Campina Grande
Centro de Engenharia Elétrica e
Informática
Coordenação de Pós-Graduação em Engenharia
Elétrica



University of Strathclyde
Department of Electronic & Electrical
Engineering
Institute of Communications & Signal
Processing

Planejamento do teste utilizando o SimuLIHM

Ademar Virgolino da Silva Netto

Orientadores

Maria de Fátima Queiroz Vieira, PhD

Federal University of Campina Grande

Brazil

John Soraghan, PhD

University of Strathclyde

United Kingdom

Glasgow - UK, Maio 2013

Plano geral do ensaio de avaliação

Informações gerais

Objetivos:

- Executar um roteiro de manobras completo com os tempos compatíveis com a realidade, para tornar a atividade fiel ao cotidiano.
- Coletar dados do treinamento simulado para análise dos resultados obtidos fazendo uma comparação dos dados coletados por questionários, observações, ações executadas e pela ferramenta de análise do cansaço (FMT).
- Analisar a influência do cansaço do operador na execução da tarefa. Para isto será elaborado uma tarefa cansativa baseado na situação cotidiana com o objetivo de coletar mais dados em relação a sua fadiga e tornar a ferramenta do cansaço útil.

Tempo disponível 2 horas para cada sessão de teste com usuário

11 Recursos disponíveis:

- SimuLIHM (Instalado no Notebook) – Para isto será necessário ampliar as suas funcionalidade e locais para atuar.
- Software de captura (FMT) e câmera para captura do rosto (própria Webcam do notebook) – Será utilizado o webcamXP pois o FMT é instável.
- A captura da tela será realizada a partir da extensão da tela para um monitor e será gravado esse o que é apresentado por este monitor.

Resultados esperados:

- Identificar falhas cometidas pelo usuário e classificá-las de acordo com o estudo do erro humano.
- Privar usuário do sono antes da execução da tarefa na tentativa de identificar o nível de cansaço do usuário a sua influência com o erro.
- Propor melhorias para as técnicas utilizadas para a avaliação do operador e para o processo descrito no protocolo do LIHM.
-

Prioridades Realizar uma tarefa completa no simulador. Aplicando protocolo proposto no trabalho de Aguiar, Y.C.

SimuLIHM	
Descrição do produto:	Simulador para treinamento de operadores em salas de controle de subestações elétricas. Desenvolvido pelo LIHM – UFCG utilizando Java.
Descrição do contexto de uso	Ambiente controlado como sala de testes ou sala em ambiente de trabalho como computador, mouse e teclado e simulador instalado. O simulador representa a sala de controle e operação de uma subestação elétrica.
Características do trabalho	Normalmente os usuários são experientes com formação na área de sistemas elétricos. Alto risco de choque elétrico ou corte no suprimento de energia para a população, o uso do simulador evita os riscos citados.
1.2	<p>SqlServer - Banco de dados para ser integrado ao simulador.</p> <p>CPNTools – Motor de simulação, contém os estados das chaves e possui a lógica de intertravamento entre os dispositivos.</p> <p>FMT (<i>Fatigue Monitoring Tool</i>) – Para capturar tela do usuário e analisar o cansaço gerando log da sessão.</p> <p>WebcamXP para captura da tela.</p>
Estrutura organizacional	Operador nacional -> Centro regional (Operador de sistema) -> Chefe dos operadores -> Operador de subestação
Condições físicas do ambiente	Ambiente com condições controladas

Comunicação	Ainda a especificar	
Equipamentos auxiliares	Monitor externo e câmera para captura da tela.	
Treinamento, Conhecimento e Qualificação	Necessita de um treinamento básico explicando a navegação no ambiente e a interação com os objetos, seus tipos e como eles funcionam.	
Natureza do produto	<input type="checkbox"/> Simples	<input checked="" type="checkbox"/> Complexo
	<input type="checkbox"/> Hardware	<input checked="" type="checkbox"/> Software
	<input checked="" type="checkbox"/> Outro _____ Treinamento _____	
Atividade		
1.3	Descrição da atividade	Execução de um roteiro de manobras incrementando os tempos para torna a tarefa longa e cansativa semelhante ao ambiente real – para isto será aumentado o tempo de resposta da rede de petri. A tarefa que será realizada será uma liberação e uma normalização de um disjuntor, atividade já realizada em outros testes do LIHM precisando apenas consertar os medidores que não estão funcionando.
	Realização da atividade	<input checked="" type="checkbox"/> Individual <input type="checkbox"/> Coletiva
	É necessário o uso de uma linguagem específica?	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não
	Em caso afirmativo, qual?	
	É necessário o uso de equipamentos auxiliares?	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não
	Em caso afirmativo, qual(is) e para quê?	
Universo amostral		
1.4	Descrição do perfil desejado (características)	Formação na área de engenharia elétrica, estudante de fim de curso, graduação, pós-graduandos ou pós-graduados.

	Diferentes tempos de sono alguns dormindo bem, privado 3, 5 ou 8 (sem dormir) essas foram as categorias utilizadas pela ferramenta FMT.
Descrição do perfil indesejado (características)	Que não tenha conhecimento básico de sistemas elétricos.
Categoria dos usuários de teste	(X) Inexperiente na atividade, mas com conhecimento básico () Intermediário ()
Dimensão do universo amostral	Em torno de 10 dois de cada com tempo de sono privado.
<i>Estratégia de recrutamento e Contato aos selecionados</i>	
	() (X) (X) ()
Meio de contato	Endereço Telefone Email Outro o e . Qual?
Avaliação	
Objetivo geral	Avaliar o desempenho do operador durante a execução da tarefa.
1.5 Objetivo específico	Avaliar: <ul style="list-style-type: none"> • Número de erros cometidos • Tempo de execução • Quantidade de consultas • Nível de cansaço Identificar mecanismos para auxiliar a avaliação de treinamento. Identificar deficiências do usuário, para propor novos treinamentos. Detalhado no plano de coleta de dados.
Natureza da avaliação	(X) Somativa (X) Formativa

	(X) Objetiva	(X) Subjetiva
	(X) Qualitativa	(X) Quantitativa
Hipóteses	Ter o sono privado diminui o rendimento do operador na execução das suas atividades.	Qual o estado da pessoa fisiológico quando o evento ocorreu e como ele reagiu Os tempos em que adquiriu um determinado estado O Estado em determinado tempo
<i>Métodos de avaliação com usuário</i>		
	(X) Observação direta	(X) Ferramenta de avaliação de questionários propostos por Aguiar. Y.C. – Análise da satisfação.
Meta	Análise geral para comparar com as demais avaliações	Extrair informações do nível de cansaço e demais dados que possam influenciar na execução da tarefa.
Objetivo	Identificar problemas de todas as naturezas	Problemas relativos ao uso do SimuLIHM. Análise das métricas quantitativas
		Identificar características do usuário

Problemas

alvo

Plano de avaliação com usuário

Aspectos gerais

Natureza do teste (X) em laboratório

(X) inexperiente

Categoria do universo amostral/Dimensão (X) intermediário

() experiente

2.1

Dimensão total do universo amostral

Número de sessões de teste

Número de tarefas de teste

(X) freqüentes

() raras

Natureza das tarefas de teste

(X) simples

() complexas

() críticas

() outras.
Qual?

Especificação das tarefas de teste

Tarefa 1

Tarefa 2

Identificador

Título

Liberação disjuntor

Normalização

Descrição

Tempo estimado para realização

2.2

					Executou todas as atividades
				Executou todas as atividades descritas no roteiro na sequencia descrita	atividades descritas no roteiro na sequencia descrita
Critérios para definir a tarefa como?	Concluída com sucesso			Mudou a sequencia das ações ou omitiu alguma ação ou pediu ajuda para concluir a tarefa.	Mudou a sequencia das ações ou omitiu alguma ação ou
	Concluída com falha/erro	com			

		pediu ajuda para concluir a tarefa.
Não concluída	O usuário não desistiu por não conseguir fazer a tarefa.	O usuário não desistiu por não conseguir fazer a tarefa.
Interrompida	Caso o avaliador intervenha antes do fim do roteiro por algum motivo	Caso o avaliador intervenha antes do fim do roteiro por algum motivo
Abandonada	O usuário desista de terminar o roteiro por algum motivo exceto porque não conseguiu fazer a tarefa	O usuário desista de terminar o roteiro por algum motivo exceto porque não conseguiu fazer a tarefa
	Outra	
Existe necessidade de interação na realização da tarefa?	Sim	Sim
Com quem?	Com o avaliador	Com o avaliador
Quando?	No início e fim das atividades	No início e fim das atividades
Como?	Apenas falando (ao microfone ou telefone caso algum deles seja utilizado)	Apenas falando (ao microfone ou telefone caso algum deles seja utilizado)
Existe a necessidade de definir um script para auxiliar a interação?	Não pois vai ser considerado que ele só precisa interagir no fim da atividade e não a cada atividade como seria na situação real.	Não pois vai ser considerado que ele só precisa interagir no fim da atividade e não a cada atividade como seria na situação real.
Listar recursos necessários		
Definir configuração do ambiente		

Plano de coleta de dados

Método de avaliação observação direta

	Acompanhamento das tarefas de teste	(X)		Roteiro de tarefa de teste
	Registro de áudio?	(X)	()	Webcam
		Sim	Não	
3.1	Registro de vídeo?	(X)	()	Webcam
		Sim	Não	
	Registro de log?	(X)	()	No próprio
		Sim	Não	SimuLIHM
	Captura de tela?	(X)	()	Outra câmera na
		Sim	Não	extensão da tela

Coleta de dados

	Se aplica?	etar? ⁸	Como analisar?
A	<i>Critérios de usabilidade</i>		
	Eficiência	S	Análise da tarefa. Analisando os critérios qualitativos e quantitativos
	Eficácia	S	Análise da tarefa. Analisando os critérios qualitativos e quantitativos
	Segurança	N	
	Aprendizado	S	Análise da tarefa. Se fez mais rápido a segunda tarefa pois é a mesma da primeira só muda a sequência.
	Memorização	S	Análise da tarefa. Se fez mais rápido a segunda tarefa pois é a mesma da primeira só muda a sequência.
	Outros		
B	<i>Indicadores Qualitativos⁹</i>		
	Facilidade de uso	S	Observação. Analise na destreza na movimentação e na interação com os objetos
	Facilidade de aprendizado	S	Observação. Uma vez realizado a atividade, observar a evolução no desempenho com a interação com os objetos
	Facilidade de conclusão	S	Observação. Se concluiu a tarefa dentro do tempo estimado, com número de erros abaixo do estimado para seu nível de

⁸ Quais ferramentas, métodos, softwares, hardwares auxiliares podem ser utilizados.

⁹ Podem estar associados à coleta de dados relativa a sondagem da satisfação do usuário

				conhecimento e concluído a tarefa com sucesso.
	Eficiência da ajuda	N		
	Facilidade de compreensão	S	Observação	Análise de quantas vezes pediu ajuda ou questiono o que devia fazer durante a tarefa.
	Outros			
C	Indicadores quantitativos			
	Tempo de realização	S	Log	Análise do log. Lembrando que tem que levar em consideração o tempo médio de resposta da CPN.
	Número de acessos a ajuda	S	Observação	No caso a ajuda em questão é a dos avaliadores.
	Número de erros	S	Log	Ferramenta de avaliação
	Número de erros repetidos	S	Log	Ferramenta de avaliação
	Número de tarefas concluídas	S	Log	Ferramenta de avaliação
	Número de tarefas não concluídas	S	Log	Ferramenta de avaliação
	Número de tarefas abandonadas	S	Log	Ferramenta de avaliação
	Número de tarefas com falhas	S	Log	Ferramenta de avaliação
	Outros			
D	Indicadores de erro humano¹⁰			
	Lista de fatores que influenciam o erro			
	Lista de possíveis erros associados às respectivas consequências			
	Classificação do erro	S	Uso da ferramenta	Só serão tratados erros associados à ação onde um conjunto de ações forma uma tarefa.

^b A ausência de detalhamento se justifica pela necessidade de conhecimento específico sobre o produto e seu contexto de uso, não podendo ser generalizada em template.

	Omissão de tarefa	N
	Omissão de ação	S
	Repetição de tarefa	N
	Repetição de ação	S
	Acréscimo de tarefa	N
	Acréscimo de ação	S
	Tarefa correta sobre o objeto errado	N
	Ação correta sobre o objeto errado	S
	Tarefa errada sobre o objeto correto	N
	Ação errada sobre o objeto correto	S
	Tarefa fora de sequencia	N
	Ação fora de sequencia	S
	Tarefa sem relação ou inapropriada	N
	Ação sem relação ou inapropriada	S
E	Estado do usuário ¹¹	
	Atento	
	Ansioso	
	Com desorganização das atividades sensório-motoras complexas	
	Com dor	
	Com dúvida	

¹¹ Podem estar associados à coleta de dados relativa a sondagem da satisfação do usuário.

Com fadiga física	S	FMT
Com fadiga mental	S	NASA TLX
Com perda de adaptabilidade		
Com sobrecarga física	N	NASA TLX
Com sobrecarga mental		
Concentrado		
Confortável		
Confuso		
Desmotivado		
Desorientado		
Disperso		
Estressado		
Excitado		
Inseguro		
Motivado		
Pressionado		
Subutilizado		

Método de avaliação: perfil do usuário

Registro de áudio? (X) () Não () Como? _____
Sim

Registro de vídeo? (X) () Não () Como? _____
Sim

3.2 Coleta de dados¹²

	Se aplica?	Como coletar? ¹³	Para que coletar?	Como analisar?
Pessoais ¹⁴	S	Questionários		
Físico sensorial/motor ¹⁵	S	Questionários		

¹² Todos os itens listados podem/devem ser detalhados.

¹³ Quais ferramentas, métodos, softwares, hardwares auxiliares podem ser utilizados.

¹⁴ Idade, gênero, estado civil, outros.

¹⁵ Restrições, destreza manual, altura, peso, atenção, memória, outros

Profissionais ¹⁶	S	Questionários
De ambiente ¹⁷	N	
Clínico/Médico (aspectos fisiológicos) ¹⁸	Talvez	
Produto (conhecimento) ¹⁹	S	Questionários
Outros		

Método de avaliação: sondagem da satisfação subjetiva do usuário

Registro de áudio?	(X) Sim	() Não	() Como? _____
Registro de vídeo?	(X) Sim	() Não	() Como? _____

Coleta de dados²⁰

	Se aplica?	Como coletar? ²¹	Para que coletar?	Como analisar?
3.3 Navegação e uso ²²	S	Questionário pós teste		
Documentação disponível ²³	N			
Usuário e o produto ²⁴	S	Questionário pós teste		
Usuário e a organização	N			
Usuário e a tarefa	S	Questionário pós teste		

¹⁶ Nível de instrução, cargo atual, habilidade com o produto, conhecimento do sistema, experiência na tarefa, nível de treinamento, outros

¹⁷ Horas de trabalho, modo de trabalho (individual, em grupo, presencial, à distância), monitoramento, realimentação, condições de trabalho, autonomia, etc.

¹⁸ Movimentação, atenção, memória, controle da impulsividade, funções de percepção, outros

¹⁹ Experiência prévia, experiência com produtos similares, experiência com a tecnologia utilizada, etc.

²⁰ Todos os itens listados podem/devem ser detalhados.

²¹ Quais ferramentas, métodos, softwares, hardwares auxiliares podem ser utilizados.

²² Uso do produto, comunicação com o produto, localização dos itens de menu, visualização das instruções de erro, compreensão das instruções de erro, navegação pelas janelas, recuperação de situações de erro, memorização da seqüência de ações, uso das funções mais comuns, compreensão da estrutura de menu, etc.

²³ Localização da ajuda, acesso a ajuda, compreensão das informações da ajuda, etc.

²⁴ Apresentação atraente, facilidade de aprendizado, outros.

Usuário (conforto, S dor, estado comportamental)	Questionário pós teste
--------------------------------------------------------	---------------------------

Outros



Laboratório de Interface Homem- Máquina

<http://lihm.dee.ufcg.edu.br/index.html>

(83) 2101-1387

Experimento: Monitoramento do desempenho e da fadiga na operação de sistemas elétricos

Sessão de Teste:

Data:

Usuário participante

Roteiro das Tarefas do Experimento – Operador

Este experimento reproduz a atividade de treinamento de um operador em uma sala de controle da subestação usando o simulador 3D para treinamento - SimuLIHM. Durante o experimento, você irá atuar como operador de uma subestação do sistema elétrico em treinamento. Normalmente, durante um turno de trabalho sem intercorrências, o operador deve executar tarefas predeterminadas de acordo com um conjunto prescrito de instruções, reproduzido neste documento. O roteiro de tarefas é extraído de um manual operacional. Durante este experimento o roteiro diz respeito a cinco tarefas, iniciar e finalizar treinamento, uma situação rotineira e a manutenção de um equipamento: **liberação** e **normalização** de um disjuntor. Durante um dia de trabalho outras tarefas podem surgir como resultado de eventos inesperados, os quais são sinalizados através de alarmes.

O objetivo deste trabalho é investigar a influência do nível de fadiga do operador sobre o resultado da tarefa. O nível de fadiga é investigado através do monitoramento e análise das expressões faciais, bem como da aplicação de ferramentas de psicologia, e o monitoramento de sinais biológicos (EEG). A análise dos dados coletados é confrontada com o **log da sessão**, também registrado durante o experimento.

A duração deste experimento, incluindo a preparação e debriefing é de aproximadamente duas horas. Se a qualquer momento durante o experimento que você desejar interromper ou parar a sua participação sinta-se livre para fazê-lo, avisando à equipe de pesquisa sobre sua intenção.

Observações: 1. Se tiver dúvidas durante a execução das tarefas, pergunte aos pesquisadores;

2. Caso alguma das informações solicitadas não for encontrada, avise aos pesquisadores e prossiga para a tarefa seguinte;

3. O experimento pode ser interrompido quando você desejar, não sendo necessário que todas as tarefas sejam realizadas.

4. Caso se sinta à vontade, solicitamos que comente em voz alta a sua atividade e as dúvidas que possam surgir durante o teste.

Executar o roteiro de manobra

A sequência deve ser seguida para que o experimento seja realizado com sucesso.

Obs.: Caso algum alarme visual/sonoro seja disparado durante a execução dessa manobra, interrompa a execução da etapa e desabilite o alarme, localizando o painel onde ocorreu e reconhecendo (desligar) o alarme antes de prosseguir com a tarefa a partir do ponto onde foi interrompida.

Tarefa 1: Iniciar treinamento

Nessa tarefa você precisa iniciar o treinamento, seguindo os seguintes passos:

1. Selecione, na aba treinamento a direita, a sessão “ _____ ”, entre as sessões disponíveis na “combo box” e pressione “Iniciar a sessão”;
2. Inicie na mesma aba o ambiente virtual para isto é necessário clicar em “Iniciar simulação”.

Tarefa 2: Ação rotineira

Nessa tarefa você vai simular uma situação de rotina, onde deve acompanhar os valores de tensão e corrente no painel.

Checar estado dos objetos no painel nos painéis: 02J5 e 02J6

1. Seu turno de trabalho iniciou agora, você deve checar a tensão (V) e a corrente (A), a cada um minuto durante 15 minutos nos painéis 02J5 e 02J6 (Relatar na Aba Relatório a direita caso acontece alguma mudança).
2. Abrir o disjuntor 12J6 e espere a realimentação do campo, confirme a tensão e a corrente após abertura.
3. Verifique a tensão e a corrente do 02J6, a cada um minuto durante 10 minutos (relatar se houver alguma alteração).
4. Abrir o disjuntor 12J5 e espere a realimentação do campo, confirme a tensão e a corrente após abertura.
5. Esperar dez minutos para executar o próximo passo.
6. Fechar o disjuntor 12J5 e medir a tensão e corrente.
7. Fechar o disjuntor 12J6 e medir a tensão e corrente
8. Checar a tensão e corrente nos painéis 12J5 e 12J6 a cada um minuto durante 10 minutos.
9. Informar que.

Tarefa 3: Liberação do Disjuntor 14V2

Em decorrência da substituição do Disjuntor 14D1, será necessário efetuar a transferência de carga do barramento. Nesta tarefa, o avaliador atuará como o operador do centro de operações do sistema (CROL) e você atuará como o operador da subestação SE CGD (CGD), executando

as manobras descritas neste item. Anote a hora em que cada ação foi concluída. Você tem aproximadamente 20 minutos para realizar esta tarefa.

1	LIBERAÇÃO 14V2		HORA
1.1	CGD	Receber do responsável a solicitação de liberação 14V2.	
1.2	CGD	Aguardar confirmação de autorização para liberação do 14V2.	
1.3	CROL	Autorizar CGD liberação 14V2.	
1.4	CGD	Confirmar se o disjuntor 14D1, localizado no painel 14D1, está aberto.	
1.5	CGD	Fechar a chave 34V2-6, no painel 04V2	
1.6	CGD	Colocar a chave 43 -14D1 na posição 'TRANSFERÊNCIA', no painel 14D1	
1.7	CGD	Colocar a chave 43 -14V2 na posição 'TRANSFERÊNCIA', no painel 04V2	
1.8	CGD	Fechar o disjuntor 14D1, no painel 14D1	
1.9	CGD	Abrir disjuntor 14V2, no painel 04V2	
1.10	CGD	Colocar a chave CLT-14V2 na posição 'LOC', no painel 04V2	
1.11	CGD	Abrir chaves seccionadoras 34V2-4 e 34V2-5, no painel 04V2	
1.12	CGD	Informar ao responsável (avaliador) a liberação do equipamento 14V2	

Tarefa 4: Normalização do Disjuntor 14V2

Após a substituição do equipamento, será necessário religar o disjuntor. Como já informado, o avaliador atuará como o operador do centro de operações do sistema e você atuará como o operador da subestação SE CGD, executando as manobras descritas neste item. Anote a hora em que cada ação foi concluída. Você tem aproximadamente 20 minutos para realizar esta tarefa.

2	NORMALIZAÇÃO 14V2		HORA
2.1	CGD	Receber do responsável (pesquisador) solicitação para iniciar a manobra e o 14V2 para operação	
2.2	CGD	Aguardar do CROL autorização para normalização do 14V2	
2.3	CROL	Autorizar CGD normalização 14V2	
2.4	CGD	Fechar chaves seccionadoras 34V2-4 e 34V2-5, no painel 04V2	
2.5	CGD	Fechar disjuntor 14V2, no painel 04V2	
2.6	CGD	Abrir disjuntor 14D1, no painel 04V2	
2.7	CGD	Colocar a chave 43 -14V2 na posição 'NORMAL', no painel 04V2	
2.8	CGD	Colocar a chave 43 -14D1 na posição 'NORMAL', no painel 14D1	
2.9	CGD	Abrir a chave seccionadora 34V2-6, no painel 04V2	
2.10	CGD	Colocar a chave CLT-14V2 na posição 'TEL', no painel 04V2	
2.11	CGD	Informar que concluiu a normalização do 14V2	

Tarefa 5: Finalizar Treinamento

Você quase concluiu seu treinamento. Para finalizar você precisa parar o ambiente virtual e finalizar a sua sessão.

1. Clique na aba da direita em treinamento e clique em "Parar Simulação".
2. Na mesma aba finalizar a sessão clicando em "Parar sessão".

Parabéns você concluiu seu treinamento e, o experimento.

Agradecemos sua participação!



Laboratório de Interface Homem-Máquina

<http://lihm.dee.ufcg.edu.br/index.html>

(83) 2101-1387

Experimento: Monitoramento do desempenho e da fadiga na operação de sistemas elétricos

Sessão de Teste:

Data:

Usuário participante

Roteiro das Tarefas do Experimento – Avaliador

Instruções fornecidas aos participantes:

Este experimento reproduz a atividade de treinamento de um operador em uma sala de controle da subestação usando o simulador 3D para treinamento - SimuLIHM. Durante o experimento, você irá atuar como operador de uma subestação do sistema elétrico, durante treinamento. Normalmente, durante um turno de trabalho sem intercorrências, o operador deve executar tarefas predeterminadas de acordo com um conjunto prescrito de instruções, reproduzido neste documento. O roteiro de tarefas é extraído de um manual operacional. Durante este experimento o roteiro diz respeito a duas tarefas complementares realizadas durante a manutenção de um equipamento: **liberação** e **normalização** de um disjuntor. Durante um dia de trabalho outras tarefas podem surgir como resultado de eventos inesperados, os quais são sinalizados através de alarmes.

O objetivo deste trabalho é investigar a influência do nível de fadiga do operador sobre o resultado da tarefa. O nível de fadiga é investigado através do monitoramento e análise das expressões faciais, bem como da aplicação de ferramentas de psicologia, e o monitoramento de sinais biológicos (EEG e ECG). A análise dos dados coletados é confrontada com o **log da sessão**, também registrado durante o experimento.

A duração deste experimento, incluindo a preparação e **debriefing** é de aproximadamente duas horas. Se a qualquer momento durante o experimento que você desejar interromper ou parar a sua participação sinta-se livre para fazê-lo, avisando à equipe de pesquisa sobre sua intenção.

Observações: 1. Se tiver dúvidas durante a execução das tarefas, pergunte aos pesquisadores;

2. Caso alguma das informações solicitadas não for encontrada, avise aos pesquisadores e prossiga para a tarefa seguinte;

3. O teste de usabilidade pode ser interrompido quando você desejar, não sendo necessário que todas as tarefas sejam realizadas.

4. Caso se sinta à vontade, solicitamos que comente em voz alta a sua atividade e as dúvidas que possam surgir durante o teste.

Executar o roteiro de manobra

A sequência deve ser seguida para que o experimento seja realizado com sucesso.

Obs.: Caso algum alarme sonoro seja disparado durante a execução dessa manobra, interrompa a execução da etapa e desabilite o alarme, localizando o painel onde ocorreu e reconhecendo (desligar) o alarme antes de prosseguir com a tarefa a partir do ponto onde foi interrompida.

Tratamento e reconhecimento de alarmes

Na ocorrência de um alarme sonoro você deve identificar o painel associado ao evento. Para reconhecer o alarme no painel existe uma botoeira de alarme que está localizada na parte superior do painel a qual deverá estar acesa (indicação em amarelo), após reconhecer o alarme você deve retomar a tarefa interrompida.

Tarefa 1: Liberação do Disjuntor 14V2 (com eventos estressores)

Em decorrência da substituição do Disjuntor 14D1, será necessário efetuar a transferência de carga do barramento. Nesta tarefa, o avaliador atuará como o operador do centro de operações do sistema (CROL) e você atuará como o operador da subestação SE CGD (CGD), executando as manobras descritas neste item. Anote a hora em que cada ação foi concluída. Você tem aproximadamente 20 minutos para realizar esta tarefa.

1	LIBERAÇÃO 14V2		HORA
1.1	CGD	Recebe do responsável a solicitação de liberação 14V2.	
1.2	CGD	Aguarda confirmação de autorização para liberação do 14V2.	
1.3	CROL	Autoriza CGD liberação 14V2.	
1.4	CGD	Confirma se o disjuntor 14D1, localizado no painel 04V2, está aberto.	
1.5	CGD	Fecha a chave 34V2-6, no painel 04V2	
1.6	CGD	Coloca a chave 43 -14D1 na posição 'TRANSFERÊNCIA', no painel 14D1	
Disparar um dos alarmes (pisca) no anunciador e nas lâmpadas dos painéis correspondentes			
1.7	CGD	Coloca a chave 43 -14V2 na posição 'TRANSFERÊNCIA', no painel 04V2	
Tocar o telefone			
1.8	CGD	Fecha o disjuntor 14D1, no painel 14D1	
1.9	CGD	Abre disjuntor 14V2, no painel 04V2	
Tocar o telefone (se tiver sido desligado pelo usuário)			
1.10	CGD	Colocar a chave CLT-14V2 na posição 'LOC', no painel 04V2	
1.11	CGD	Abre chaves seccionadoras 34V2-4 e 34V2-5, no painel 04V2	

1.12	CGD	Informa ao responsável (avaliador) a liberação do equipamento 14V2	
------	-----	--------------------------------------------------------------------	--

Tarefa 2: Normalização do Disjuntor 14V2

Após a substituição do equipamento, será necessário religar o disjuntor. Como já informado, o avaliador atuará como o operador do centro de operações do sistema e você atuará como o operador da subestação SE CGD, executando as manobras descritas neste item. Anote a hora em que cada ação foi concluída. Você tem aproximadamente 20 minutos para realizar esta tarefa.

2	NORMALIZAÇÃO 14V2 <i>(com eventos estressores)</i>		HORA
2.1	CGD	Recebe do responsável (pesquisador) solicitação para iniciar a manobra e o 14V2 para operação	
2.2	CGD	Aguarda do CROL autorização para normalização do 14V2	
2.3	CROL	Autoriza CGD normalização 14V2	
2.4	CGD	Fecha chaves seccionadoras 34V2-4 e 34V2-5, no painel 04V2	
Disparar o alarme sonoro			
2.5	CGD	Fecha disjuntor 14V2, no painel 04V2	
2.6	CGD	Abre disjuntor 14D1, no painel 14D1	
Tocar o telefone			
2.7	CGD	Coloca a chave 43 -14V2 na posição 'NORMAL', no painel 04V2	
Disparar um dos alarmes no anunciador			
2.8	CGD	Coloca a chave 43 -14D1 na posição 'NORMAL', no painel 14D1	
2.9	CGD	Abre a chave seccionadora 34V2-6, no painel 04V2	
Disparar um dos alarmes no anunciador			
2.10	CGD	Colocar a chave CLT-14V2 na posição 'TEL', no painel 04V2	
2.11	CGD	Informa que concluiu a normalização do 14V2	

Parabéns você concluiu seu treinamento e o experimento.

Agradecemos sua participação!

University of Strathclyde



Universidade Federal de Campina
Grande



Laboratório de Interface Homem-
Máquina

Manual simplificado do simulador

Navegação

Como navegar no ambiente (Usando mouse, teclado e funcionalidades de navegação)



Dentre as funcionalidades acima que se encontra do lado esquerdo se indica o uso:

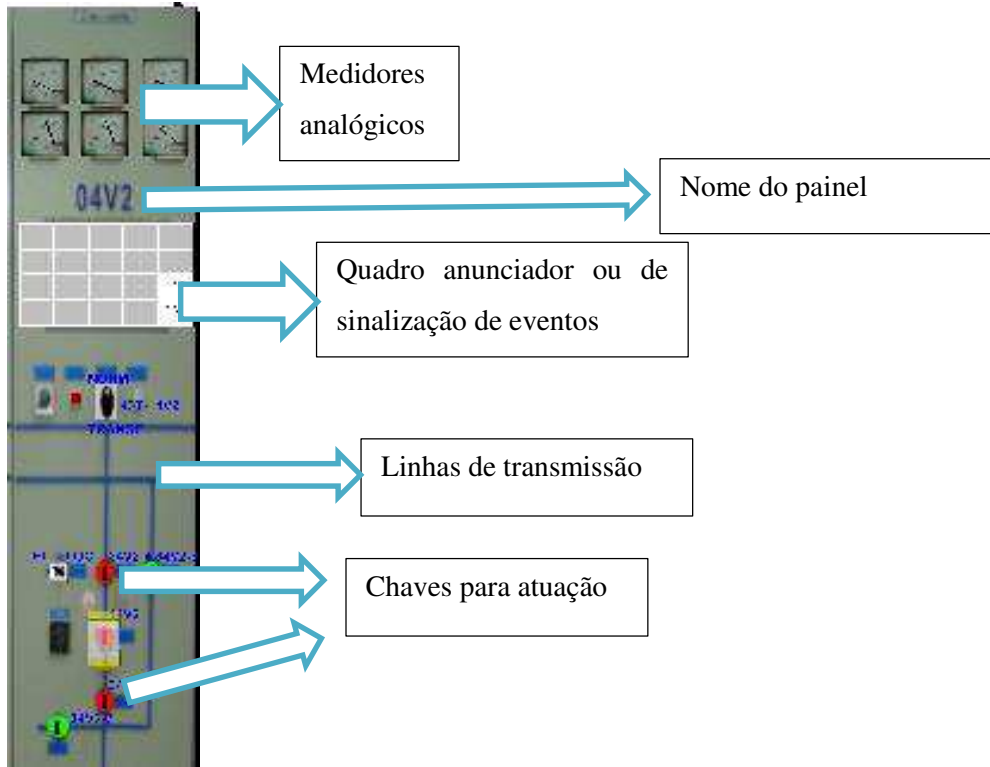
A blue icon of a person walking, representing the 'Andar' (Walk) function.	Andar - você utiliza o mouse para andar na sala de comando.
A blue icon of a four-pointed star with arrows, representing the 'Pan' function.	Pan – você utiliza o mouse para subir e descer sua visão.

Indicador do mouse:

A blue icon of a mouse cursor pointing to the top-right, representing the 'Indicador do mouse' (Mouse indicator) function.	Indica que você pode interagir com o objeto selecionado
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------

Objetos de interação

- Painel (como identificar o nome)



Tipo de chaves





Chave de tele comando **CLT** (Para acionar basta clicar)

	Posição TEL : Telecomando Posição LOC : Comando Local
--	------------------------------------------------------------------------

Chaves do tipo transferência ou 43T (Para acioná-las)

Posição Norm: Normal		
Posição Transf: Transferido		





Chave do Tipo Punho (para aciona-la você deve clicar no punho)

 <p>Chave com proteção</p>	 <p>Indicador luminoso que esta aberto - Verde</p>	 <p>Indicador luminoso esperando resposta do campo- as duas brancas</p>	 <p>Indicador luminoso que esta fechado – Vermelho</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Chaves do Tipo Giro-Pressão-Giro (Para acionar basta um clique na barra do meio)

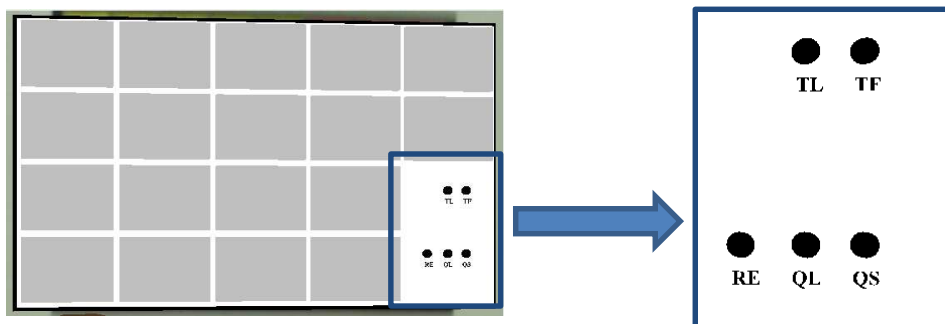
Esta chave possui dois indicadores:

- Botão (retângulo preto) indica o estado da chave no painel se ele esta na mesma direção da linha de transmissão indica que está fechado no painel como na primeira figura (fechado).
- Cor (circulo)

 <p>Fechado (Vermelho)</p>	 <p>Esperando resposta do campo (Branco)</p>	 <p>Aberto (Verde)</p>	 <p>Discordância entre campo e painel (Amarelo)</p>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

OBS: Durante as interações é sempre importante esperar a resposta, pois em muitos casos existem um atraso na resposta para simular a realidade.

Quadro anunciador ou de sinalização de eventos



Botões do quadro de sinalização

TL: Teste de lâmpadas (pisca)
 TF: Teste geral (pisca e emitir sinal sonoro)

RE: Desligar o alarmes luminosos e sonoros (piscar e soar)

QL: Desligar apenas alarme luminoso (piscar)

QS: Desligar apenas alarme sonoro

Telefone



	Para desligar clique no gancho (parte que atende)
	Para ligar clique no teclado