



GRUPO - IX

GRUPO DE ESTUDO OPERAÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS- GOP

ESTRATÉGIA PARA PREVENÇÃO DO ERRO HUMANO DURANTE A EXECUÇÃO DE
MANOBRAS EM SUBESTAÇÕES DE TRANSMISSÃO

Sérgio E. C. Dias (*)
UFCG

Maria F. Q. Vieira
UFCG

RESUMO

Este trabalho analisa a realização de manobras em subestações, seus riscos inerentes e erros associados, observando a interação entre operador e sistema, propondo a retirada de graus de liberdade do operador durante a execução da tarefa. Esta abordagem resultou no projeto de uma ferramenta centrada no usuário, objetivando a redução do erro humano durante manobras em subestações. A interface da ferramenta reproduz o formato do documento de manobra e assume, sob autorização do operador, o controle do sistema na realização de ações de manobra, prevenindo erros decorrentes da escolha entre diversos objetos representados semelhantemente na interface do sistema supervisor.

PALAVRAS-CHAVE

Erro humano, estratégia, Interface Homem-Máquina, subestação, manobras.

1.0 - INTRODUÇÃO

O erro humano e suas implicações consistem em desafio constante para pesquisadores, engenheiros e demais atores envolvidos direta ou indiretamente com a realização dos processos. O contexto de subestações de transmissão de energia é dos mais críticos, considerados os riscos envolvidos, sobretudo durante a realização de manobras como atestam os estudos sobre relatórios de ocorrência apresentados na última edição deste evento (1). Para que seja possível reduzir os erros neste contexto é necessário aprofundar os estudos sobre as atividades desenvolvidas pelos operadores do sistema, pois a classificação de erros humanos abrange um vasto conjunto de atividades.

Toda atividade humana tem como característica intrínseca a possibilidade do erro, porém as organizações tendem a encarar o erro como consequência apenas da atuação do indivíduo, desconsiderando sua interação com o sistema ou com o ambiente no qual está inserido. Esta análise, além de equivocada, é ineficaz na busca da implantação de estratégias de prevenção do erro. Por outro lado, considerar o erro como a consequência da interação do operador com o sistema produz soluções mais eficazes na sua prevenção, na medida que estas são fundamentadas na análise das causas que levaram as estratégias previamente implantadas a falharem. Este trabalho fundamenta-se na análise do comportamento do operador humano, durante a execução das manobras em subestações de transmissão para desenvolver um sistema que introduza redundância na operação do sistema, em situações consideradas de alto risco. O sistema desenvolvido foi testado no âmbito da empresa Companhia Hidroelétrica do São Francisco - CHESF, obtendo resultados promissores que motivam a continuidade da pesquisa.

2.0 - ESTRATÉGIAS EXISTENTES

Várias estratégias têm sido propostas por pesquisadores ou implantadas em organizações com o objetivo de melhorar o desempenho da operação do sistema e, em alguns casos, reduzir erros humanos durante manobras em subestações. Algumas referem-se a manobras de recomposição, ou seja, aquelas que são executadas após um desligamento intempestivo proveniente de defeito na subestação ou no sistema no qual está inserida. Outras estão relacionadas a manobras de rotina ou programadas.

Este trabalho aborda manobras de rotina, que são padronizadas e geralmente executadas de acordo com uma programação prévia. Esta diferença, apesar de parecer sutil, muda substancialmente o foco da pesquisa e do desenvolvimento do sistema na medida em que manobras de recomposição podem apresentar variações, pois quase sempre se originam em defeitos do sistema, o que deve resultar em uma configuração diferente a cada evento e as padronizadas têm como requisito uma configuração previamente determinada.

2.1 Estratégias para manobras programadas

A pesquisa de anterioridade sobre estratégias existentes destaca dois trabalhos: Alves (2) e Araújo et al. (3). O trabalho de Alves (2) está relacionado a manobras programadas e propõe a execução da tarefa com o apoio de um PDA – *Personal Digital Assistant*. Este *hardware* exibe para o operador o sequenciamento das ações de manobra e pode emitir um alerta em caso de omissão de ações. O autor sugere, ainda, que os objetos a serem manipulados estejam destacados de outros que não estão envolvidos na manobra. O trabalho apresentado por Araújo et al. (3) basicamente propõe uma melhoria ao trabalho de Alves, acrescentando ao PDA a funcionalidade de confirmar o objeto a ser manipulado na sequência antes da ação do operador. Esta ação de confirmação é feita com uma etiqueta de RFID - *Radio-Frequency IDentification* fixada próximo ao equipamento físico a ser manobrado e é lida pelo PDA que confirma se o objeto é o esperado naquele instante da manobra. É importante observar que ambas as estratégias não bloqueiam de fato a ação errada do operador, apenas sugerem a ação correta e alertam em caso de desvio da sequência esperada.

As principais desvantagens destas estratégias estão relacionadas à própria filosofia proposta e a questões práticas associadas à tecnologia utilizada. Quanto à filosofia, na medida que não há bloqueio físico das ações espera-se que o operador siga uma regra ou norma pré-definida pela empresa para que a estratégia obtenha sucesso. Outras questões práticas relacionadas à ergonomia e usabilidade do dispositivo PDA no pórtico de uma subestação devem ser avaliadas com cautela.

2.2 Estratégias para manobras de recomposição

No contexto de manobras de recomposição quando é necessário restabelecer o sistema após um blecaute, por exemplo destacam-se os trabalhos de Bullos et al. (4), Sperandio; Coelho (5) e Masselli (6). O primeiro trabalho (4) se baseia em lógicas aplicadas a CLP – Controladores Lógicos Programáveis que compõem o sistema de automação da empresa distribuidora de energia ESCELSA – Espírito Santo Centrais Elétricas S.A. A partir de um conjunto de regras bem definidas, os CLP são programados de forma a realizar uma série de verificações que determinam se é possível ou não os equipamentos envolvidos no desligamento serem restabelecidos de forma automática.

Os autores Sperandio e Coelho (5) propõem a utilização de métodos de Programação Combinatória Inteira para apoiar decisões do sistema de automação na recomposição automática de alimentadores das redes de distribuição. O sistema proposto pelos autores considera a característica dos sistemas de distribuição típicos que possuem uma única fonte (sistema radial) para os alimentadores (linha de distribuição). A proposta faz uso de dois métodos de programação combinatória inteira: **Branch-and-Bound** e **Algoritmos Genéticos** e demonstra como eles apoiam as decisões sobre alocação das chaves automáticas de modo a otimizar a operação de uma área específica da rede de distribuição, reduzindo a indisponibilidade para o consumidor final pelo isolamento de trechos de um alimentador ao invés do desligamento total em função de um defeito.

O autor Masselli (6) aborda um sistema que apoia as decisões do operador em casos de desligamentos intempestivos. Associa o estado da planta com regras pré-estabelecidas e, a partir de questionamentos ao operador, sugere quais ações devem ser tomadas na sequência, mas não as executa. O sistema usa as respostas do operador e as informações da planta para elaborar uma *heurística* que apoia as decisões que devem ser tomadas para recompor o sistema. O operador pode seguir ou não as sugestões e o sistema também não atua sobre a planta.

As desvantagens destas propostas em relação a apresentada neste trabalho estão relacionadas à filosofia e a limitações técnicas. No trabalho de Masselli o sistema depende fortemente do componente humano para retornar as informações que irão apoiar as decisões do operador, podendo introduzir erros durante este processo. O trabalho de Sperandio e Coelho aborda um sistema que apoia decisões de projeto para alocação de chaves de manobra ao longo de linhas de distribuição objetivando reduzir a indisponibilidade da rede. No trabalho de Bullos et al. o uso de lógicas no CLP do sistema de proteção é uma forma de automatizar o processo de recomposição,

excluindo totalmente o operador humano da tarefa.

O presente trabalho é centrado em manobras programadas e objetiva retirar determinados graus de liberdade do operador durante estas manobras o suficiente para evitar diversos tipos de erro, porém mantendo controle sobre o intervalo entre as ações objetivando manter o controle de variáveis relacionadas a transitórios eletromagnéticos que podem colocar o sistema em risco.

3.0 - ESTRATÉGIA PROPOSTA

Não há uma classificação universal do erro humano, mas aquela que é adequada a uma determinada atividade. O trabalho de Guerrero (7) concentra o estudo do erro no contexto dos sistemas de transmissão de energia, analisando diversas taxonomias existentes e demonstra que a classificação de Rouse & Rouse [apud Guerrero (7)] é mais adequada às atividades desenvolvidas dentro de subestações de energia. No trabalho de Guerrero são analisados relatórios de erro humano da Companhia Hidroelétrica do São Francisco para ampliar a classificação de Rouse & Rouse. A classificação ampliada possui 9 categorias gerais e cada uma contendo diversas categorias específicas. O bloqueio ou redução de erros da categoria geral de execução mostrados na Tabela 1 é o objetivo central da estratégia proposta neste trabalho.

Tabela 1 Categorias de erro (7) a serem mitigados ou bloqueados com a estratégia

Categoria geral	Categorias específicas
Execução	Omissão
	Repetição
	Inclusão
	Sequência
	Ação errada sobre o objeto correto
	Ação correta sobre o objeto errado
	Ação sem relação ou inapropriada
	Intervenção em tempo não apropriado
	Execução incompleta
Execução sem intenção	

Com base na tarefa e na filosofia proposta em que há necessidade de se manter o controle do momento em que a sequência de ações é iniciada, os erros do tipo específico *Intervenção em tempo não apropriado* ficam desprotegidos pelo sistema. Entretanto esta limitação é proposital e se deve à questão dos transitórios eletromagnéticos em manobras na rede com tensões de 230kV ou superiores e não a restrições inerentes à ferramenta.

3.1 Princípios básicos para o projeto de um sistema de redução de erros humanos

A análise dos trabalhos sobre o comportamento humano durante o processo de tomada de decisões, a execução de atividades e motivações para o erro presentes em trabalhos de diversos autores apontaram para a elaboração de três princípios básicos de projeto que serviram de referência na concepção do sistema apresentado neste trabalho. Notadamente os autores Rasmussen (8), Reason (9) e Norman (10) tiveram maior relevância na concepção destes princípios apresentados a seguir e que foram norteadores do projeto de uma ferramenta que tem o objetivo de reduzir erros humanos em sistema críticos industriais. Os três princípios estão relacionados a seguir:

Comportamental – O projeto deve ser robusto ao ponto de evitar erros decorrentes do comportamento baseado nos automatismos (*skill*) em que as tarefas são executadas com baixo nível de atenção;

Motivação: Modelo SRK de Rasmussen (1983).

Resiliência – O projetista deve se concentrar em como o sistema poderá se recuperar das condições latentes que ainda não levaram a execução da tarefa ao momento do ato inseguro, fortalecendo em cascata as barreiras e defesas deste sistema;

Motivação: Modelo do “queijo suíço” de Reason (2000).

Engenharia cognitiva – Deve ser meta de projeto a redução da distância entre os objetivos psicológicos e a ação física na execução da tarefa.

Motivação: Os sete estágios da atividade do usuário (NORMAN, 1986).

3.2 Definição da estratégia

Com base nos estudos sobre o erro humano, nos princípios de projeto apresentados foi desenvolvida uma estratégia para reduzir os erros de execução dos tipos apresentados na Tabela 1. A estratégia pode ser descrita como:

“Reduzir os graus de liberdade desnecessários ao operador humano durante a execução da tarefa, mantendo apenas os graus de liberdade necessários para a confiabilidade do sistema”

Esta descrição é transformada em ações concretas através da utilização de uma ferramenta computacional que implementa as funcionalidades necessárias para atingir os objetivos do projeto que são:

- Manipulação indireta dos objetos do sistema supervisorio pelo operador: consiste na introdução de uma interface entre o operador e o supervisorio que possui a funcionalidade de executar as ações de manobra diretamente no sistema supervisorio;
- Bloqueio de ações fora da sequência do roteiro de manobras: consiste em disponibilizar apenas a ação determinada pela sequência do roteiro, nenhuma antes ou depois;
- Manipulação apenas de objetos que contém descrição em linguagem natural: interação direta com o roteiro de manobras que apresenta as ações em linguagem natural.

3.3 A interface do sistema supervisorio SAGE

O terceiro princípio de projeto (seção 3.1) aponta para uma *engenharia cognitiva* sobre a tarefa e o sistema com objetivo de reduzir a distância entre os objetivos psicológicos e a ação física. Neste contexto a análise da interface do sistema supervisorio adotado pela empresa é necessário, pois está intrinsecamente ligado à forma como o operador executa a tarefa.

A CHESF adota o SAGE – Sistema Aberto de Gerenciamento de Energia do CEPEL (11) como sistema supervisorio para realização dos processos de operação do sistema nos centros de operação e instalações. A interface do SAGE utiliza arquitetura baseada em *full-graphics* e componentes gráficos de GUI – *Graphical User Interface* em duas e três dimensões. A FIGURA 1 mostra uma tela típica de representação de uma instalação da CHESF neste sistema.

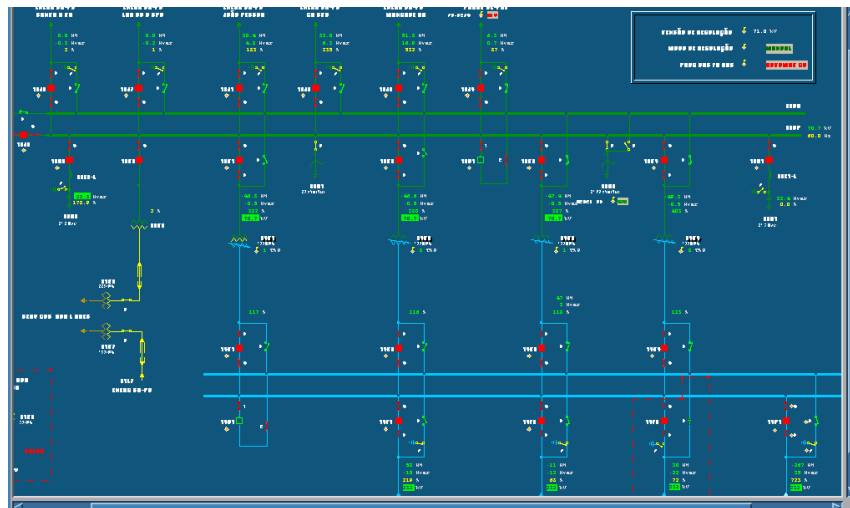


FIGURA 1 Representação típica de uma instalação da CHESF no SAGE

O projeto da interface apresentada neste trabalho foi elaborado com base no MCIE – Método de Concepção de Interfaces Ergonômicas (12) utilizado no contexto de pesquisas do GIHM - Grupo de Interfaces Homem Máquina da UFCG – Universidade Federal de Campina Grande. O método introduz conceitos formais para padronização de projetos de interfaces. Uma análise da interface do SAGE atualmente utilizada pela empresa foi realizada à luz do MCIE com o objetivo de identificar eventuais problemas na concepção desta interface, considerando a tarefa do operador.

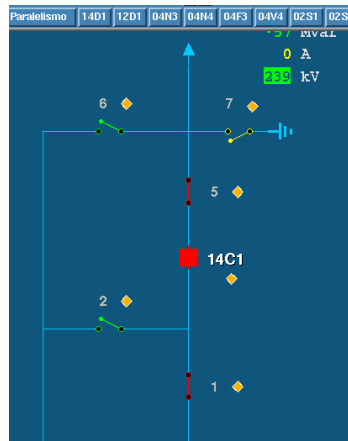


FIGURA 2 Visão dos objetos da interface SAGE pelo operador durante a execução de uma manobra. Os principais aspectos resultantes desta análise estão relacionados a seguir:

- Contraste inadequado: a FIGURA 1 mostra que a cor de fundo é uma tonalidade de azul que não contrasta adequadamente com as linhas do diagrama unifilar em outro tom de azul;
- Ausência de distinção entre objetos relevantes: a FIGURA 2 exibe a forma geométrica (losango) como elemento para execução do acionamento de qualquer equipamento mostrado na tela (e.g. chaves e disjuntores). Este pode ser considerado o principal fator de risco presente na interface;
- Presença de várias informações não relevantes para uma mesma tarefa: durante a execução de uma manobra apenas um objeto é acionado por vez, entretanto na FIGURA 1 toda a planta está disponível para interação neste instante o que pode confundir o operador.

O resultado desta análise sugere que a interface se adéqua em parte à tarefa de execução de manobras em sistemas críticos de transmissão de energia, ensejando uma revisão do projeto atualmente em uso objetivando melhor adequação à tarefa de execução de manobras.

3.4 A interface proposta

Com base nos resultados das análises realizadas, nos princípios norteadores e utilizando os conceitos contidos no MCIE propõe-se uma estratégia para redução de erros humanos durante manobras em sistemas de transmissão. A filosofia da estratégia proposta consiste em reduzir determinados graus de liberdade do operador humano durante o processo de tomada de decisão sobre qual objeto o operador deverá atuar naquele instante da manobra. Para alcançar o objetivo foi desenvolvido um sistema que reproduz a estrutura do documento utilizado nas manobras (RTM – Roteiro de Manobras) em uma interface onde o operador interage com o próprio documento em lugar dos objetos manipuláveis (losangos) mostrados na FIGURA 2. A interface deste sistema está caracterizada pela

1	LIBERAÇÃO	HORA	AÇÃO
1.1	CTM	Receber do responsável solicitação liberação 14C3	<input type="button" value="Executa"/>
1.2	CTM	Solicitar CROL liberação 14C3.	:
1.3	CROL	Solicitar COSR-NE autorização liberação 14C3/CTM.	:
1.4	COSR-NE	Autorizar CROL liberação 14C3/CTM.	:
1.5	CROL	Autorizar CTM liberação 14C3.	:
1.6	CTM	Colocar operação da SE no nível 2.	:
1.7	CTM	Confirmar 14D1 fechado	:
1.8	CTM	Fechar 34F8-1	:
1.9	CTM	Abrir 34F8-2.	:
1.10	CTM	Colocar proteção 14C3 na posição EM TRANSFERÊNCIA	:
1.11	CTM	Fechar 34C3-6.	:
1.12	CTM	Abrir 14C3.	:
1.13	CTM	Abrir 34C3-1 e 34C3-5.	:
1.14	CTM	Colocar proteção 14C3 na posição TRANSFERIDO	:
1.15	CTM	Bloquear comando elétrico 34C3-1, 34C3-2 e 34C3-5.	:

FIGURA 3 - Aspecto da tela de execução da ferramenta de automação de manobras

A tela da interface mostrada na FIGURA 3 reproduz um RTM para liberação do disjuntor codificado como 14C3 da subestação Coteminas da empresa CHESF. Antes de chegar a esta tela o usuário teve que acessar o sistema com seu identificador e senha personalizada. Uma vez dentro do sistema é necessário escolher o roteiro em uma lista que exibe apenas aqueles roteiros que fazem parte do escopo de atuação do operador *logado* no sistema.

A FIGURA 4 mostra o acionamento do equipamento chave seccionadora de código operacional 34F8-1 feito a partir da interface do sistema de automação de manobras. Apenas após a mudança de estado do objeto de aberto para fechado o *log* do SAGE disponibiliza o horário. O programa, então, coleta este horário e o publica no campo “hora” da linha do item (1.8) da tela de execução. Caso este horário não seja disponibilizado no *log* o programa não permite o avanço para o próximo item. Observa-se na mesma figura três momentos da manobra distintamente destacados: os itens executados (i) contendo horário e botão com a descrição “Executado”; o item em execução (ii) com botão na cor verde e a descrição “Executa” e os itens a serem executados (iii) sem informação de hora ou existência de objeto que permita manipulação direta.

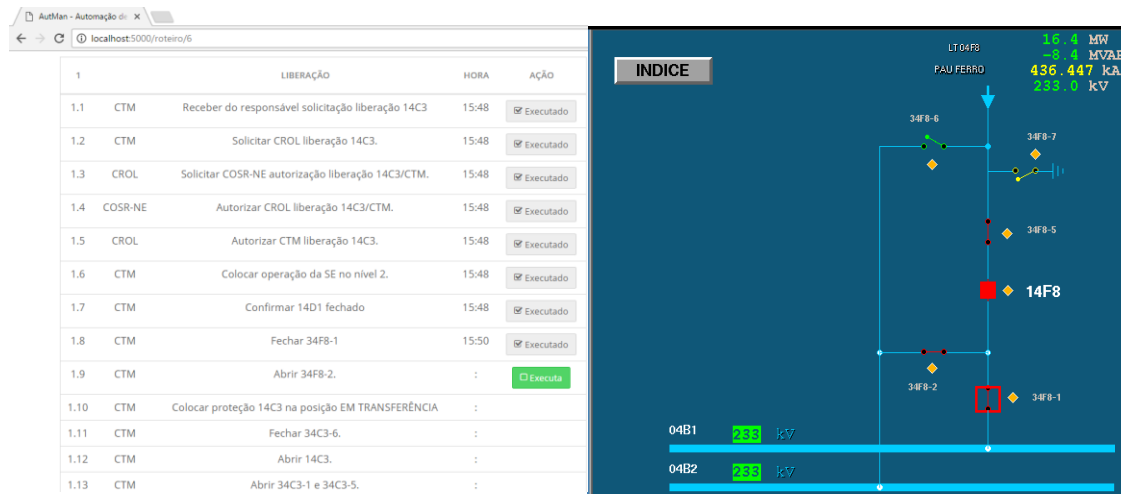


FIGURA 4 - Execução de um item de manobra pelo operador e o resultado da ação no SAGE

O detalhe da tela da ferramenta na FIGURA 4 mostra os itens do 1.1 ao 1.13 dentre os quais os itens 1.1 a 1.7 (exceto 1.6) são ações sem relação com o supervisor, os demais são executados pela ferramenta.

4.0 - RESULTADOS OBTIDOS

Para validar a estratégia proposta e a eficácia da ferramenta foi elaborado em um experimento para ser realizado com um grupo de operadores da empresa CHESF no ambiente real de operação: a sala de comando de uma subestação da empresa. O experimento consiste em solicitar que o operador execute manobras programadas típicas da rotina da instalação com e sem a utilização da ferramenta de apoio a manobras para possibilitar a comparação do desempenho do grupo nas duas situações. Os testes foram realizados com apoio do ambiente de simulação SAGE/Simulop (13) utilizando técnicas de simulação de ocorrências em ambiente de operação real (14).

4.1 Perfil dos usuários participantes

O levantamento do perfil dos participantes dos testes evidenciou que os operadores possuem formação técnica anterior na área antes de entrar na empresa ou foram formados pela própria empresa em um curso direcionado para a função desempenhada. Observa-se que o grupo se caracteriza por apresentar uma heterogeneidade quanto à formação acadêmica, tempo de experiência na função e faixa etária. A Tabela 2 exibe uma síntese das características gerais levantadas dos operadores que compõem o universo de participação dos testes.

Tabela 2 - Síntese do levantamento das características dos operadores participantes dos testes

Quanto à formação acadêmica	OPI com formação técnica apenas	OPI com formação técnica e cursando engenharia	OPI com formação técnica e em engenharia	Total:
	(8)	(2)	(2)	
Quanto ao tempo de experiência na função	0 a 5 anos (3)	6 a 20 anos (5)	Maior que 21 anos (4)	

Quanto à faixa etária	18 a 24 anos (1)	25 a 35 anos (1)	36 a 44anos (4)	Acima de 45 (6)
------------------------------	---------------------	---------------------	--------------------	--------------------

4.2 Variáveis de interesse e parâmetros medidos

Para possibilitar a comparação da estratégia proposta com a estratégia atual bem como avaliar o desempenho da ferramenta foram definidas duas variáveis de interesse e um conjunto de parâmetros definidos como objetivo de possibilitar a análise destas variáveis. As variáveis tempo de execução da tarefa e incidência de erros foram avaliadas a partir do levantamento dos dados dos parâmetros da Tabela 3 durante o experimento.

Tabela 3 -Parâmetros medidos durante os testes para análise das variáveis de interesse do experimento

ETAPA 1 SEM a utilização da ferramenta						
Tempo de liberação (min)	Tempo de normalização (min)	Total de acionamentos	Total de erros operacionais humanos			Tempo total (min)
ETAPA 2 COM a utilização da ferramenta						
Tempo de liberação (min)	Tempo de normalização (min)	Total de acionamentos	Total de erros operacionais humanos	Total de erros operacionais atribuídos à ferramenta	Falhas da ferramenta	Tempo total (min)

4.2.1 Metodologia e execução do experimento

Para a realização dos testes foi escolhida a subestação Coteminas da empresa CHESF localizada na cidade de Campina Grande onde há uma instalação de mesmo nome que é o local de trabalho da equipe participante. A escolha de Coteminas para os testes deve-se a critérios de ordem metodológica e outros de caráter pragmático. Quanto aos critérios metodológicos a escolha está relacionada ao grau de automação da subestação, isto é, a possibilidade de se realizar praticamente todos os acionamentos necessários às manobras a partir do sistema supervisor SAGE e o arranjo da instalação que não é familiar ao grupo. Este último critério objetiva avaliar o desempenho dos participantes com o uso da ferramenta ao executar uma tarefa com a qual não tem a mesma familiaridade que as demais da sua rotina cotidiana.

O experimento contou com a participação de 12 operadores da empresa CHESF que foram solicitados a executar dois roteiros manobras na subestação escolhida: a primeira na etapa 1 sem a utilização da ferramenta e a segunda (etapa 2) com a utilização da ferramenta de apoio às manobras. Após a conclusão dos testes os operadores responderam dois questionários que contém perguntas sobre a percepção de cada um sobre a utilização da ferramenta e a estratégia apresentada.

4.3 Análise dos dados coletados

Os dados coletados foram agrupados em diversas tabelas gerando um volume considerável de informações. Uma síntese destas informações está apresentada nas tabelas 4 e 5 a seguir.

Tabela 4 - Comparativo dos tempos de execução das manobras com e sem a ferramenta

Sessão	SEM A FERRAMENTA			COM A FERRAMENTA		
	Roteiro	Tempo de liberação (min)	Tempo de normalização (min)	Roteiro	Tempo de liberação (min)	Tempo de normalização (min)
1 (Piloto)	RTM-CTM-14C3	12	14	RTM-CTM-14F8	10	8
2	RTM-CTM-14C3	16	15	RTM-CTM-14W1	15	13
3	RTM-CTM-14D1	9	9	RTM-CTM-14C3	12	9
4	RTM-CTM-04B1	13	10	RTM-CTM-14C3	11	10
5	RTM-CTM-04B2	8	9	RTM-CTM-14C3	9	9
6	RTM-CTM-14F8	12	16	RTM-CTM-14D1	7	8
7	RTM-CTM-14F8	11	10	RTM-CTM-14W1	10	10
8	RTM-CTM-04B1	9	8	RTM-CTM-14F8	6	5
9	RTM-CTM-14F8	11	14	RTM-CTM-04B2	8	6
10	RTM-CTM-14D1	8	(50)	RTM-CTM-14W1	10	8
11	RTM-CTM-14W1	12	10	RTM-CTM-04B1	8	6
12	RTM-CTM-14W1	12	10	RTM-CTM-04B2	11	13
		TEMPO MÉDIO		TEMPO MÉDIO		
		11,08	11,36			8,82
				9,75		

Observa-se uma diferença média de 1,33 minutos (12,03%) nos procedimentos de liberação do equipamento e 2,55 minutos (22,4%) nos procedimentos de normalização dos equipamentos ambos menores com a utilização da ferramenta. Considerando o tempo total da manobra a diferença é de 18,4% ou 4,18 minutos a menos com a ferramenta. Alguns procedimentos podem conter muitos mais itens de acionamento o que sugere que a redução no tempo pode alcançar a escala das horas.

A TABELA 5 apresenta o desempenho do operador sem uso da estratégia com relação a incidência de erros humanos. Durante a execução dos testes como o uso da ferramenta não houve incidência de erros humanos, porém foram observados 4 erros na etapa sem o uso da ferramenta.

Tabela 5 - Ocorrência de erros humanos durante os testes sem a ferramenta

Sessão	1	6	7	11
Idade do operador	50 anos	60 anos	47 anos	50 anos
Tempo experiência na função (anos)	30	30	< 1	< 1
Procedimento	Liberação	Normalização	Liberação	Liberação
Tempo de manobra SEM Estratégia (min)	12	16	11	12
Tempo de manobra COM Estratégia (min)	10	8	10	8
Roteiro do erro observado	RTM-CTM-14C3	RTM-CTM-14F8	RTM-CTM-14F8	RTM-CTM-14W1
Item de manobra em que ocorreu o erro	1.10 - Colocar proteção 14C3 na posição EM TRANSFERÊNCIA	2.13 - Colocar 14F8 na posição NORMAL	1.11 - Abrir 34F8-2 e 34F8-5	1.11 - Fechar 34W1-6
Classificação (GUERRERO, 2006)	Ação correta sobre objeto errado	Ação omissa	Ação correta sobre objeto errado	Ação sem relação ou inapropriada

A análise dos dados evidencia que erros podem ocorrer independentemente da experiência do indivíduo na execução da tarefa, ao mesmo tempo os dados mostram a possibilidade de ocorrência de erros em qualquer procedimento (liberação ou normalização). Este fato é de certa forma esperado, pois indivíduos experientes tendem a cometer erros por autoconfiança e os inexperientes cometem erros por falta de conhecimento. Durante os testes erros ocorreram apenas na etapa em que a tarefa foi realizada sem a estratégia ou sem utilizar a ferramenta para apoiar as manobras. Não foram observados erros com o uso da ferramenta. Nem mesmo o tipo "*Intervenção em tempo não apropriado*" ocorreu o que sinaliza que a ferramenta é eficaz no bloqueio de erros humanos durante manobras em subestações de transmissão de energia elétrica. A análise dos tempos de execução da tarefa com e sem a ferramenta pelos operadores que cometeram os erros sugere que é possível aumentar a segurança da manobra ao mesmo tempo em que se reduz o tempo de execução das tarefas.

Após a execução dos testes os operadores responderam a questões relacionadas a ferramenta e à estratégia. Sobre a ferramenta as características de navegação, facilidade de uso e aprendizado, bem como confiabilidade foram avaliadas positivamente pelo grupo. Com relação a estratégia proposta foram avaliadas a eficácia, redução do tempo e do esforço, assim como desempenho do operador, sendo os resultados favoráveis à nova forma de execução da tarefa.

5.0 - CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nos testes demonstraram que a estratégia elaborada neste trabalho é promissora no que diz respeito à prevenção de erros humanos em plantas industriais de transmissão de energia. Com base nos resultados obtidos conclui-se que é mais eficaz considerar a relação operador-tarefa-sistema ao planejar estratégias de prevenção do que observar a atuação do indivíduo isoladamente. Ficou evidenciado com base nos dados coletados que é possível realizar a tarefa manobra em subestações de transmissão de energia com mais segurança e em menos tempo.

Os participantes dos testes demonstraram ampla aceitação da ferramenta e da estratégia apresentadas neste trabalho, apesar de críticas relacionadas ao contraste do texto descritivo das ações de manobra na interface. Alguns problemas foram observados na ferramenta durante a realização dos testes pelos operadores, dentre os quais destaca-se que o bloqueio dos avanços indevidos no roteiro de manobra pode falhar, o que potencializa a ocorrência de erro, apesar de não ter ocorrido nos testes.

O sistema apresentado neste trabalho é um protótipo que foi testado em um experimento com a participação de apenas uma equipe de operadores, entretanto os resultados indicam que a aplicação em escala deve trazer resultados semelhantemente positivos. Sugere-se o refinamento do código com objetivo de solucionar os problemas relatados sobre a interface e os bloqueios de avanços indevidos, bem como a repetição dos testes antes de adotar o sistema na rotina da operação.

A estratégia proposta neste trabalho pode ser utilizada em outras plantas industriais como petroquímicas e distribuição de água, cujas tarefas sejam desempenhadas por humanos com apoio de automação. Destaca-se que não há limitações para o uso desta ferramenta em manobras de recomposição de sistemas complexos com mais de uma subestação, entretanto para que seja possível aplicar esta solução é necessário realizar adaptações como o monitoramento das variáveis sistêmicas e a introdução no código da ferramenta das estruturas de condições sistêmicas características de instruções de operação de recomposição de sistemas (15).

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) VIEIRA, M. F. Q.; DIAS, S. E. C.; TORRES FILHO, F.; SILVA NETTO, A. V.; AGUIAR, Y. P. C., Composição de Cenários de Treinamento de Operadores do Sistema Elétrico Baseados no Estudo de Relatórios de Ocorrências. In: SNPTEE SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, XXIII. Foz do Iguaçu: SNPTEE, 2015.
- (2) ALVES, J. A. N. Processo para concepção de estratégias para prevenção do erro na operação de sistemas elétricos. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Campina Grande, 2009.
- (3) ARAÚJO, A. S. et al. Sistema de gerência e execução de documentos da operação. In: SNPTEE SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, XXII. Brasília: SNPTEE, 2013.
- (4) BULLUS, C. V. R. et al. Restabelecimento automático de transformadores de distribuição através de lógicas implementadas no SSC. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE OPERADORES DE SISTEMAS, V., 2010, Florianópolis: SENOP, 2010.
- (5) SPERANDIO, M.; COELHO, J. Métodos de programação inteira aplicados ao planejamento da automação de sistemas de manobra em redes de distribuição. Revista Controle & Automação, Campinas, v. 21, n. 5, p.464-476, out. 2010.
- (6) MASSELLI, L.A. Sistema Inteligente de Apoio ao Restabelecimento de Sistema Elétrico na Fase Fluente. Dissertação (mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, 2000.
- (7) GUERRERO, C.V.S. Modelo conceitual de cenários de acidentes causados pelo erro humano em sistemas industriais críticos com o foco na concepção de interfaces ergonômicas. 1 v. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Campina Grande, 2006
- (8) RASMUSSEN, J. Skills, rules, and knowledge; signals, signs, and symbols, and other distinctions in human performance models. In Systems, man, and cybernetics (S. 257- 266). New York: IEEE Press, 1983.
- (9) REASON, J. Human error: models and management. 2000. BMJ, Vol. 320, pp. 768- 770, 2000.
- (10) NORMAN, D. A. Cognitive Engineering. In S. W. Draper & D. Norman (Hrsg.), User Centered System Design: New Perspectives on Human-computer Interaction (S. 31-61). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1986.
- (11) CEPEL. SAGE - Sistema Aberto de Gerenciamento de Energia. Disponível em: <<http://www.sage.cepel.br/>>. Acesso em: 20 jul. 2015.
- (12) TURNELL, M. F. Q. V. Accounting for Human Errors in a Method for the Conception of User Interfaces. International Mediterranean Modelling Multiconference, pp. 122-130, Bergeggi, Itália, Outubro 2004.
- (13) LEITE, C.R.R., Oliveira, J.J.R. de, Oliveira, J.G. de. "O uso de simuladores no treinamento de operadores da CHESF como ferramenta para disseminação de conhecimentos na operação do sistema elétrico." II Seminário Internacional – Reestruturação e regulação do setor de energia elétrica e gás natural, 2007.
- (14) DIAS, S.E.C. VIEIRA, F.A.Q. A Experiência da Chesf com Simulação de Sistemas de Potência no Ambiente de Operação Real para Treinamento de Operadores Utilizando uma Técnica de Acesso Remoto. In: ENCONTRO PARA DEBATES DE ASSUNTOS DE OPERAÇÃO, XI. Florianópolis: EDAO, 2010.
- (15) ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico - (Org.). IO-OI.NE.CGD. Procedimentos Sistêmicos para a Operação da SE Campina Grande II. Procedimentos de Rede: Submódulo 10.12 (2015). Disponível em: <<http://www.ons.org.br/procedimentos/index.aspx>>. Acesso em: 24 jul. 2016.

7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Sérgio Edoardo Correa Dias – Nascido em João Pessoa PB é engenheiro eletricitista, graduado pela Universidade Federal de Campina Grande em 2002. É mestre em engenharia elétrica pela UFCG (2017). Trabalha na Companhia Hidro Elétrica do São Francisco desde 2008, atuando no Centro de Operação do Sistema e atualmente no Serviço de Operação de Instalações de Campina Grande. Atuou na área de redes de comunicação de dados do Centro Nacional de Gerência da Rede da Empresa Brasileira de Correios e Telégrafos – Administração Central em Brasília (2004 a 2007). Atua na área de operação de sistemas e instalações de transmissão de energia desde 2008.



Maria De Fátima Queiroz Vieira – Nasceu Paulo Afonso BA (1953). É professora Titular no DEE UFCG. Tem formação em Engenharia Elétrica, com Graduação na UFPB (1981) e PhD na Universidade de Bradford, no UK (1986). Criou o GIHM no sistema Grupos do CNPq e, coordena o Laboratório de Interfaces Homem Máquina no DEE UFCG. Atua na área de Engenharia da Computação aplicada à Automação Industrial, com foco no estudo do erro humano e sua relação com as IHMs. Sua pesquisa é caracterizada pela colaboração com os grupos internacionais: LSIS UMR CNRS e o Departamento de Ergonomia Cognitiva na Universidade de Provence, ambos na França e, as Universidades de Strathclyde e de Huddersfield, no Reino Unido (UK).