

Sistema Especialista para Avaliação de Manobras de Operadores de Redes de Distribuição

Raimundo C. G. Teive, SEEnergia
Fernando, L. R. Mussoi, IFSC
Alex L. R. Rese, SEEnergia
Jorge Coelho, SEEnergia
Fabiano F. Andrade, SEEnergia
Edison A. C. Aranha Neto, IFSC
Florianópolis – SC, Brasil
raimundogteive@gmail.com

Fredner Leandro Cardoso, CPFL
João Paulo Parreira, CPFL
Thiago Freire Guth, CPFL
Campinas – SP, Brasil
thiagoguth@cpfl.com.br

Resumo—A tarefa cotidiana de reconfiguração de redes de distribuição nos centros de operação das concessionárias objetiva essencialmente a minimização do tempo de indisponibilidade da energia elétrica. A eficiência do operador pode ser medida de forma mais ampla pelo impacto da sua atuação nos indicadores técnicos e econômicos da distribuição. Neste artigo apresenta-se uma proposta de sistema especialista, para avaliação *off-line* do desempenho de um operador de uma rede de distribuição pós-contingência, com adoção de critérios de avaliação que contemplam as cinco dimensões da filosofia do Controle de Qualidade Total. Um estudo de caso demonstra a viabilidade desta metodologia.

Palavras-chave—Redes de Distribuição, Sistema Especialista, Avaliação de Operadores, Manobras de Operação.

INTRODUÇÃO

Os operadores de redes de distribuição precisam estar preparados para gerenciar um grande volume de informações e dados do sistema em sua rotina de trabalho e, frequentemente, solucionar problemas decorrentes de contingências na rede de distribuição, por exemplo, em um mínimo espaço de tempo, buscando-se assim minimizar o efeito destas contingências nos indicadores de continuidade de serviço. Nestas situações críticas para o sistema há um aumento na carga cognitiva e de estresse para o operador, aumentando-se assim a probabilidade de ocorrência de erro humano, com graves consequências para o sistema, seus usuários e por vezes para o próprio operador.

Além disto, em situações normais de operação, como para reconfiguração de redes de distribuição, os operadores devem ter sempre como meta a redução do número de manobras e a maximização do tempo de disponibilidade da rede de distribuição. Neste sentido é fundamental que a empresa disponha de ferramentas computacionais que possam mensurar o quão eficiente está a atuação do operador, e se o mesmo está seguindo as melhores práticas de operação, executando manobras em conformidade com o plano de

contingências da empresa, visando sobretudo minimizar o impacto da sua atuação nos indicadores técnicos e econômicos da empresa.

Porém, o desenvolvimento de um sistema computacional para avaliar o desempenho do operador, é algo complexo que necessita de dados e informações de diversos sistemas operacionais e comerciais da empresa, devendo ter como entrada as seguintes informações e dados: tipo de evento que originou a atuação do operador, data e horário; registro de toda a sequência de ações executada pelo operador; dados dos estados das chaves antes do evento e depois com a intervenção do operador; tempos e dados técnicos antes e depois da contingência.

Com este conjunto de dados e informações, é possível a análise *off-line* do desempenho do operador, podendo-se então quantificar este desempenho. Nos casos em que ocorrer uma avaliação abaixo do desejável, poderão ser adotadas medidas para mitigação destas deficiências, como por exemplo, o encaminhamento do operador para atividades de treinamento.

Desta forma, neste artigo é apresentada uma proposta de um sistema computacional, baseado em um sistema especialista, para avaliação *off-line* do desempenho de um operador de uma rede de distribuição, dada uma determinada contingência passada. Além disto, ressalta-se a contribuição ao estado da arte nesta área, com adoção de critérios de avaliação baseados nas cinco dimensões da filosofia do Controle de Qualidade Total, cuja aplicação vem obtendo sucesso em diferentes áreas da engenharia moderna.

ERROS DE OPERADORES

Os operadores de redes de distribuição e de subestações, especialmente em situações de contingências na rede, tem um aumento na carga cognitiva e de estresse, aumentando assim o risco de cometer algum erro ou realizar uma manobra indevida. Mesmo em situações cotidianas de reconfiguração

de rede, este risco existe. É muito importante para a empresa ter conhecimento de quão eficientes os seus operadores estão, e se suas manobras estão de acordo com as melhores práticas de operação da empresa. Neste sentido, uma ferramenta computacional que possa avaliar o desempenho dos operadores, periodicamente, considerando manobras passadas, seria de grande valia para a empresa.

O desenvolvimento de simuladores em sistemas de potência, especialmente para treinamento de operadores de subestações, já tem sido bem explorado na literatura especializada da área [01], [02], [03], [04], [05]. Há diversos exemplos na literatura de ferramentas computacionais com este fim, principalmente baseadas em sistemas especialistas e agentes inteligentes [03], [05], [06], ambas técnicas oriundas da inteligência artificial. A maior preocupação nestes casos é o desenvolvimento do ambiente computacional que possibilite a simulação de abertura/fechamento de disjuntores e chaves seccionadoras, chaveamento de relés, simulação de perturbações na rede de transmissão e identificação de falhas no ambiente de uma subestação.

O foco destes sistemas está no simulador em si, como ambiente de treinamento, e não na avaliação de desempenho dos operadores. No caso de ferramentas para simular o treinamento de operadores [07], [08], a avaliação do desempenho do operador é muito elementar; tendo como ênfase apenas identificar o erro do operador.

Com relação aos erros que acontecem com operadores, existem estudos reportando os erros mais frequentes cometidos por operadores, além da análise de como estes acontecem.

Conforme apresentado em [01], existem seis tipos de erros comumente cometidos por operadores. São estes:

- Erro Tipo 1: ação correta sobre o objeto errado.
- Erro Tipo 2: ação omissa.
- Erro Tipo 3: ação inapropriada (fora do contexto).
- Erro Tipo 4: inclusão de ação que não estava prevista.
- Erro Tipo 5: sequência incompleta.
- Erro Tipo 6: sequência diferente da prevista.

Complementado estes erros, em [07] e [08] são apontados, além destes seis tipos de erros cometidos por operadores, mais os seguintes:

- Intervenção em tempo não apropriado.
- Ação errada sobre o objeto errado.
- Execução sem intenção.

Ainda segundo [08], a abrangência e a complexidade dos sistemas empregados na operação dos sistemas elétricos podem levar os operadores aos seus limites cognitivos e, conseqüentemente, a uma ação errada ou não esperada diante de uma contingência.

A análise e a classificação do erro humano têm sido abordadas em diversas pesquisas por meio da interpretação de relatórios de ocorrências [09], onde são detalhados os aspectos técnicos envolvidos no erro, tais como: práticas adotadas, operações realizadas, além de descrever o estado do sistema anterior e posterior ao erro.

A análise do erro humano é o ponto de partida para a compreensão das causas de sua ocorrência, seguida de uma série de medidas mitigatórias, além do treinamento e avaliação dos operadores. A extração do conhecimento contido nos relatórios de ocorrências e a análise das condições do sistema semelhantes antes, durante e após a falha, permitem avaliar os impactos da sequência de manobras e procedimentos adotados e refletir o desempenho técnico do operador.

Especificamente no desenvolvimento desta pesquisa junto à concessionária, pode-se avaliar também a execução da sequência das manobras, em virtude da quantidade, qualidade e organização dos dados de registro das manobras efetuados nos centros de operação.

CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO

Para avaliação do desempenho do operador, definiu-se neste trabalho os critérios de avaliação conforme a filosofia do Controle de Qualidade Total - CQT [10], considerando-se as cinco dimensões gerais do CQT: Qualidade Intrínseca, Custos, Entrega / Atendimento, Moral e Segurança. Estes critérios foram adaptados para o problema em foco, com base na experiência e capacidade de análise de um grupo de especialistas, gerando-se subcritérios, conforme apresentado na Árvore de Critérios da Fig. 1.

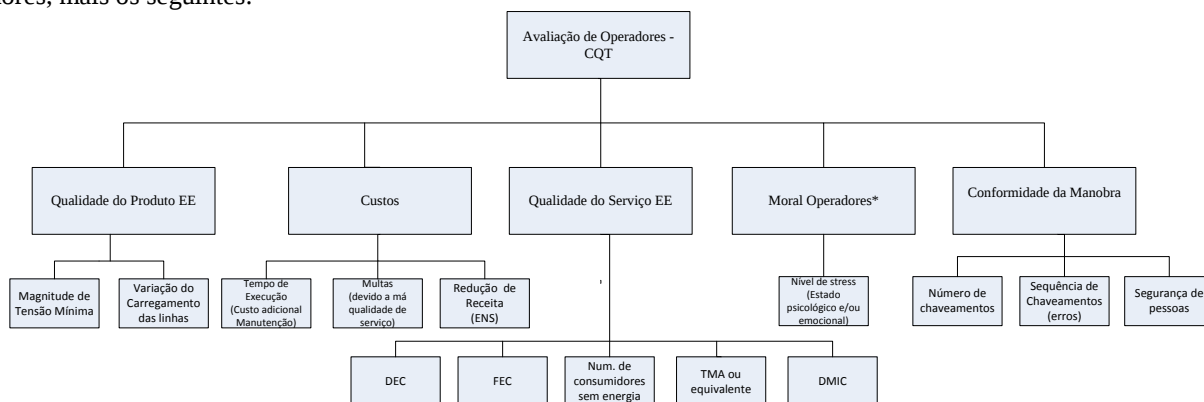


Fig. 1 – Árvore de Critérios

Com relação à Árvore de Critérios apresentado na Fig. 1, é importante destacar que cada subcritério proposto deverá ter um descritor ou métrica, indicando o incremento ocasionado pela manobra não conforme do operador em cada um destes subcritérios. Cabem alguns comentários sobre estes critérios de avaliação:

- Com relação ao critério Qualidade do Produto Energia Elétrica:
 - A proposta considera como métrica o total de barras com tensão abaixo de um valor definido pela empresa, 0,95 pu, por exemplo.
- Com relação ao critério Custos:
 - Considera-se o tempo TMP (tempo médio de preparo) e tempo evitado devido à análise da localização das equipes e deslocamentos.
- Para o critério Qualidade do Serviço de Energia Elétrica:
 - No caso do FEC, considera-se o FEC decorrente de uma manobra mal executada pelo operador, considerando apenas as interrupções com mais de 3 minutos de duração.
 - Para o número de consumidores sem energia envolvidos na manobra, deve ser considerado o desvio (incremento) do número de consumidores sem energia no início da contingência e o acréscimo devido à atuação do Operador.
 - O subcritério DMICp segue a mesma lógica do incremento, mas refere-se à duração máxima da interrupção para os consumidores prioritários.
- Para o critério Moral, este critério somente ficará habilitado quando se constatar que o operador cometeu algum erro. Neste caso, pode-se avaliar o histórico de avaliações psicológicas do operador, buscando-se identificar o nível de estresse do mesmo (tendência).
- Para critério Conformidade das Manobras, tem-se:
 - Neste caso, introduziu-se um subcritério para representar a situação em que uma manobra indevida do operador colocou em risco a vida de pessoas (transeuntes ou equipe de manutenção).
 - Para a sequência de chaveamentos, utiliza-se o plano básico de contingência por alimentador (referência), o qual apresenta regras gerais de ação e identificação dos problemas.

SISTEMA ESPECIALISTA TUTORIAL

No sistema computacional proposto, o Sistema Especialista Tutorial (SET), fará o papel do avaliador ou

tutor; sendo responsável por gerenciar todo o processo de avaliação, além de executar o fluxo de potência, executar o algoritmo de Prim [13] para a configuração de referência adotada e executar a avaliação multicritério, utilizando-se pesos ROC, conforme apresentado em [18] e [19].

O SET está sendo implementado em C#, utilizando-se o API Clips.net. Este sistema não está totalmente implementado, mas envolverá os seguintes conjuntos de regras de produção:

- Regras para identificação de linhas sobrecarregadas ou barras com tensões abaixo de 0,95 pu, comparando as configurações de referência e a gerada pelas manobras do operador;
- Regras para cálculo dos custos extras provenientes das ações indevidas do operador;
- Regras para verificação do desvio da qualidade de serviço. Neste caso, somente foi implementado a parte relativa ao DMIC de consumidores prioritários;
- Regras para identificação do Moral do operador. Este conjunto de regras ainda não foi implementado;
- Regras para identificação de possíveis erros do operador. Estas regras relacionadas ao critério Conformidade das Manobras (fig. 1).

RESULTADOS

A. Descrição do Caso Teste

Para aplicação da metodologia proposta, foi utilizado o sistema IEEE 16 barras, usualmente utilizado para validar algoritmos para análise de redes de distribuição [11] e [12], [13], [14], [15], notadamente problemas de reconfiguração de redes de distribuição. Mais detalhes sobre este sistema podem ser encontrados em [15] e [16].

O sistema utilizado possui três alimentadores, cada um com um disjuntor, três chaves de interconexão (chaves NA) e 13 chaves seccionadoras (chaves NF). Para efeitos de simplificação foi considerada uma chave para cada linha de distribuição. O sistema está apresentado na Fig. 2, sendo S5, S11 e S16 as chaves NA.

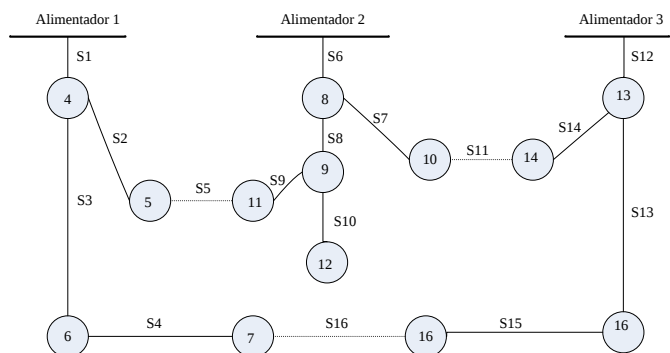


Fig. 2 – Sistema Teste IEEE – 16 barras

Os parâmetros de linhas são apresentados na Tabela I, sendo obtidos de [11] e [16].

Tabela I – Dados de Linha – Sistema IEEE 16 barras

Linha	R (pu)	X (pu)	Z (pu)
1-4	0,075	0,10	0,125
4-5	0,080	0,11	0,136014705
4-6	0,090	0,18	0,201246118
6-7	0,040	0,04	0,056568542
2-8	0,110	0,11	0,155563492
8-9	0,080	0,11	0,136014705
8-10	0,110	0,11	0,155563492
9-11	0,110	0,11	0,155563492
9-12	0,080	0,11	0,136014705
3-13	0,110	0,11	0,155563492
13-14	0,090	0,12	0,15
13-15	0,080	0,11	0,136014705
15-16	0,040	0,04	0,056568542
5-11	0,040	0,04	0,056568542
10-14	0,040	0,04	0,056568542
7-16	0,090	0,12	0,15

Os dados de barras estão apresentados na Tabela II.

Tabela II – Dados de Barras – Sistema IEEE 16 barras

Barras	P(MW)	Q (Mvar)	Tensão (pu)
4	2,0	1,6	0,9885
5	3,0	1,5	0,9844
6	2,0	0,8	0,9816
7	1,5	1,2	0,9805
8	4,0	2,7	0,9735
9	5,0	3,0	0,9593
10	1,0	0,9	0,9713
11	0,6	0,1	0,9585
12	4,5	2,0	0,9532
13	1,0	0,9	0,9905
14	1,0	0,7	0,9887
15	1,0	0,9	0,9859
16	2,1	1,0	0,9846

As tensões de barra apresentadas na Tabela II, considerando-se a configuração inicial do sistema teste (Figura 1), foram obtidas utilizando-se o método de cálculo de fluxo de potência para redes radiais [17]. A carga total deste sistema é de 28,7 MW e 17,3 Mvar. Para esta configuração as perdas ativas totais são de 0,6216 MW.

Para aplicação da metodologia proposta foram consideradas as seguintes simplificações nos critérios propostos na Árvore da Fig. 1:

- Qualidade do produto energia elétrica: foi considerado na avaliação do desempenho do operador somente a magnitude de tensão das barras;
- Custos: foi considerado na avaliação o tempo de manutenção (tempo adicional) e a redução da receita pela energia não suprida;
- Qualidade do serviço energia elétrica: foi considerado apenas o DMIC;
- Moral: não foi considerado neste exemplo;

- Conformidade de manobras: foi considerado o número de chaveamentos e a sequência de chaveamentos executada pelo operador.

Com relação ao sistema teste da Fig. 2, considerou-se as seguintes premissas:

- Ocorrência de contingência na linha 8-9, com a consequente abertura da chave S8;
- Na barra 9 existe um consumidor prioritário (único do sistema), cuja carga é de (5 MW + j3 Mvar);
- As cargas do sistema foram consideradas constantes, conforme a Tabela II;
- As linhas do sistema são projetadas para atender a potência das cargas para qualquer situação de contingência simples no sistema.
- Com exceção da chave S5, a qual é telecomandada, todas as demais chaves são manuais.

B. Comentários sobre o estudo de caso

Para o caso exemplo com contingência na linha 8-9 e abertura da chave S8, a configuração de referência da rede da fig. 2 foi obtida através do algoritmo de Prim [13], o qual foi programado para buscar a configuração que gera a minimização da impedância (perdas). Neste caso, a configuração de referência tem as seguintes chaves abertas: S3, S8 e S14.

Cabe destacar que para esta configuração as barras 9 e 12 tem tensões abaixo de 0,95 pu. A barra 9 tem tensão de 0,938 pu, enquanto que a barra 12 tem 0,9326 pu. Neste caso, seria necessário um corte de carga de 3 MW na barra 12. Entretanto, este procedimento não foi considerado como possível ação do operador.

Para comparação das manobras executadas pelo operador, para a contingência considerada, e o plano de contingências para os alimentadores da fig. 2 (plano de referência com as chaves S3, S8 e S14 abertas), considera-se as informações apresentadas na Tabela III. Foi considerado um tempo médio de 15 minutos para cada manobra das chaves manuais. Os tempos de manobra dos disjuntores das subestações e chave telecomandada S5 foram desprezados.

Tabela III – Chaveamentos executados e de referência

Sequência de chaveamentos executada pelo operador	Hora	Sequência de chaveamentos de referência	Hora
DJ 2 abre (automaticamente)	00:00	DJ 2 abre (automaticamente)	00:00
Abrir chave S8	00:00	Abrir chave S8	00:00
Abrir DJ 3	00:00	Abrir DJ 1	00:00
Abrir chave S14	00:15	Fechar chave S5	00:15
Fechar chave S11	00:30	Abrir chave S3	00:30
Fechar DJ 2	00:30	Fechar DJ 1	00:30
Abrir DJ 1	00:30	Abrir DJ 3	00:30
Fechar chave S5	00:45	Abrir chave S14	00:45
Abrir chave S3	01:00	Fechar chave S16	01:00
Fechar DJ 1	01:00	Fechar DJ 3	01:00
Fechar chave S16	01:15	Fechar chave S11	01:15
Fechar DJ 3	01:15	Fechar DJ 2	01:15

Dado as informações apresentadas na Tabela II, o SET identifica que neste estudo de caso o operador não se ateve em religar mais rapidamente o consumidor prioritário conectado na barra 9, cometendo dois tipos de erros:

- Erro Tipo 1: ação correta sobre o objeto errado.
- Erro Tipo 6: sequência diferente da prevista.

C. Avaliação Multicritério do Desempenho do Operador

Os pesos dos critérios foram determinados pelo método do centroide (*Rank-Order Centroid Weights – ROC*), a partir da informação implícita na preferência ordinal entre os critérios [18]. Os valores dos pesos são calculados a partir dos vértices de um simplex e correspondem às médias de suas coordenadas. Esse método é menos complexo e mais transparente que outros métodos de julgamentos dos pesos dos critérios, uma vez que necessita apenas da ordem de importância dos critérios, informação cujos avaliadores têm maior confiança [18], [19].

O cálculo dos pesos dos critérios pelo método do centroide [18], [19], [20], [21] forneceu os seguintes valores para a preferência ordinal dos seis critérios adotados (sequência definida pelos avaliadores da empresa):

PREFERÊNCIA ORDINAL DOS CRITÉRIOS E PESOS:

C_1 - Redução de receita: $w_1 = 0,4083$;

C_2 - Sequência de manobras: $w_2 = 0,2417$;

C_3 - DMIC prioritário $w_3 = 0,1583$;

C_4 - Magnitude das tensões nas barras: $w_4 = 0,1028$;

C_5 - Número de manobras: $w_5 = 0,0611$;

C_6 - Tempo extra de manutenção: $w_6 = 0,0278$;

O critério redução de receita pela energia não suprida refere-se ao montante financeiro não faturado durante o tempo adicional em que o sistema ficou indisponível, em relação ao tempo estimado no plano de contingência. Neste caso, foi considerada uma tarifa 50% maior para o consumidor prioritário (barra 9), em relação aos demais consumidores.

$$C_1 = \frac{23,95 - 21,35}{21,35} = 0,1218$$

O critério sequência de manobras refere-se ao total de manobras executadas fora da sequência prevista, em relação à sequência de manobras previstas no plano de contingência. No caso analisado, o operador executou 4 manobras fora da sequência prevista, de um total de 11 manobras (7 corretas das 11 previstas).

$$C_2 = \frac{4}{11} = 0,3636$$

O critério DMIC prioritário é determinado pelo desvio de tempo em que houve interrupção nos consumidores prioritários, em relação ao tempo estimado no plano de contingência. No caso analisado, o consumidor prioritário foi restabelecido em 60 minutos, enquanto o tempo estimado era de 30 minutos.

$$C_3 = \frac{60 - 30}{30} = 1,00$$

O critério magnitude das tensões nas barras é calculado pela somatória dos desvios das tensões em cada barra, após a sequência de manobras, relacionado à situação anterior à ocorrência. No caso analisado esse valor é nulo, pois a configuração final obtida pelo operador é a mesma indicada pelo plano de contingência.

$$C_4 = \frac{\sum \Delta V_{\text{apos}} - \sum \Delta V_{\text{antes}}}{\sum \Delta V_{\text{antes}}} = \frac{0,1048 - 0,1048}{0,1048} = 0$$

O critério número de manobras efetuadas pelo operador refere-se ao desvio em relação à quantidade total de manobras previstas no plano de contingência da distribuidora. No caso analisado, o operador executou um total de 11 manobras, o mesmo número previsto no plano de contingência. Porém algumas manobras foram executadas em sequência diferente da prevista (Erros tipos 1 e 6).

$$C_5 = \frac{\text{realizado} - \text{previsto}}{\text{previsto}} = \frac{11 - 11}{11} = 0$$

O critério tempo extra de manutenção é definido pelo tempo adicional contabilizado para normalização do sistema em relação ao tempo estimado no plano de contingência. No caso analisado o desvio de tempo foi de ZERO. O tempo de execução e o tempo estimado foram de 1h15min (75 minutos).

$$C_6 = \frac{75 - 75}{75} = 0,0$$

Uma vez determinado os valores dos critérios e seus respectivos pesos, a avaliação final da sequência de manobras do operador pode ser calculada por uma função aditiva ponderada [19]:

$$AV = \sum_{i=1}^n C_i * w_i$$

Quanto menor o valor de AV , melhor o desempenho do operador nas manobras executadas, pois quando $AV = 0$ significa que o operador executou corretamente os procedimentos e minimizou os impactos da contingência sobre a operação do sistema.

Dadas as notas calculadas acima, aplicando-as na função aditiva do AV , tem-se:

$$AV = (0,4083 * 0,128 + 0,2417 * 0,3636 + 0,1583 * 1 + 0 + 0 + 0) = 0,2959$$

A avaliação do desempenho do operador neste caso é dado por $(1 - AV)$. Como AV representa o desvio do operador em relação às ações de referência, quanto menor este valor, melhor. Neste caso, a avaliação do operador seria de 70,14 %.

É proposto neste trabalho um sistema computacional para avaliação *off-line* do desempenho do operador, considerando contingências passadas. O sistema é baseado em um Sistema Especialista Tutorial, o qual está integrado com um programa para cálculo de fluxo de potências, algoritmo para reconfiguração de redes e para avaliação multicritério.

O SET ainda não está totalmente implementado, entretanto, resultados preliminares obtidos com o sistema 16 barras, demonstram a viabilidade da metodologia proposta, no que tange à modelagem da avaliação do desempenho de operadores de redes de distribuição.

No caso teste simulado, foi possível identificar dois erros cometidos pelo operador, além da quantificação do impacto destes erros nos critérios de avaliação adotados: redução de receita, sequência de manobras, DMIC, variação da magnitude das tensões nas barras, número de manobras e tempo extra de manutenção.

Considerando as ações do operador dada uma contingência no sistema, foi possível quantificar os desvios dos valores dos critérios de avaliação em relação a um plano de referência. Assim, chegou-se a um valor de 70,14%, o que poderia ser considerado satisfatório para efeito de avaliação do operador.

Nas próximas etapas de desenvolvimento desta pesquisa, pretende-se incluir os demais critérios apresentados na Fig. 1 deste artigo, para avaliação do desempenho dos operadores, bem como a inclusão de novas funções objetivo para os algoritmos de reconfiguração de redes de distribuição.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao grupo CPFL Energia e ao programa de P&D da ANEEL.

REFERÊNCIAS

- [01] A. V. S. Netto *et al.* "Ferramenta para Avaliação do Treinamento de Operadores de Subestação em Simulador". *Anais do SBSE 2014*. Foz do Iguaçu. Abril, 2014. 6 p.
- [02] J. F. A. Costa, M. de F. Q. Vieira e E. C. Gurjão "Avaliação do limite operacional de um simulador para treinamento de operadores em ambiente distribuído". *Anais do SBSE 2014*. Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos. Foz do Iguaçu. Abril, 2014.
- [03] L. Faria, A. Silva, Z. Vale e A. Marques "Training Control Centers' Operators in Incident Diagnosis and Power Restoration Using Intelligent Tutoring Systems". *IEEE Transaction on Learning Technologies*. Vol 2. No 2. 2009
- [04] R. R. Leite, J. J. R. De Oliveira e J. G. De Oliveira "O uso de Simuladores no Treinamento de Operadores da CHESF como Ferramenta para Disseminação de Conhecimento na Operação do Sistema Elétrico". *Anais do II Seminário Internacional – Estruturação e regulação do Setor de Energia Elétrica e Gás Natural*, 2002.
- [05] Z. Bingda, X. Shiwei e W. Dong "The Training Simulation System for Substation Based on Network and Expert System. 5th International Conference on Advances in Power System, Control, Operation and Management. Oct. 2000.
- [06] G. Lambert-Torres, G. M. Ribeiro, C. L. A. Costa, A. P. A. Da Silva e V. H. Quintana "Knowledge Engineering Tool for Training Power-Substation Operators". *IEEE Trans. on Power Delivery*. Vol. 12. N. 2. April. 1997.
- [07] A. V. S. Netto, F. V. M. Ferreira e M. de F. Q. Vieira "Avaliação do Treinamento de Operadores de Sistemas Elétricos através da Execução de Tarefa Apoiada no Estudo do Erro Humano". *Anais do CBA 2012*. Congresso Brasileiro de Automática. Campina Grande. Pb. Set. 2012.
- [08] M. F. Q. Vieira *et al.* "Composição de cenários de treinamento de operadores do sistema elétrico baseados no estudo de relatórios de ocorrências". *Anais do XXII SNPTEE*. Foz do Iguaçu. Outubro, 2015
- [09] J. Rasmussen *et al.* "Classification System for Reporting Events Involving Human Malfunctions". In: Report RISO M-2240. RISO National Laboratory. March, 1981.
- [10] V. F. Campos *TQC: Controle de Qualidade Total (no estilo japonês)*. FMG – Fundação Christiano Ottoni, Rio de Janeiro: Bloch Editores. 1992.
- [11] D. Pavana e M. T. Triveni "Power Restoration in Distribution Network Through Reconfiguration Using MST-Kruskal's Algorithm". *Proceedings of International Journal of Research in Engineering and Technology*. Vol. 4, Issue 7. July. 2015.
- [12] T. D. Sudhakar e K. N. Srinivas "Power Restoration Based on Kruskal's Algorithm". *Proceedings of International Conference on Energy Systems*. Jan. 2011.
- [13] T. D. Sudhakar e K. N. Srinivas "Prim's Algorithm for Loss Minimization and Service Restoration in Distribution Networks". *Proceedings of International Journal of Electrical and Computer Engineering*. Vol. 2, N. 1. 2010.
- [14] G. J. Peponis, M. P. Padadopoulos e N. D. Hatziaargyriou "Distribution Network Reconfiguration to Minimize Resistive Line Losses". *IEEE Trans. on Power Delivery*. Vol. 10, N. 3. July. 1995.
- [15] L. N. Shivakumar, G. R. Kumar e H. B. Marulasiddappa "Implementation of Network Reconfiguration Technique for Loss Minimization on a Standart 16 Bus Distribution System". *Proceedings of International Journal of Soft Computing and Engineering*. Vol. 3. Issue 6. January. 2014.
- [16] S. Civanlar, J. J. Grainger, H. Yin e S. S. H. Lee "Distribution Feeder Reconfiguration for Loss Reduction". *IEEE Transaction on Power Delivery*, Vol. 3, N. 3. July. 1988.
- [17] M. E. Baran e F. F. Wu "Network Reconfiguration in Distribution Systems for Loss Reduction and Load Balancing". *IEEE Transaction on Power Delivery*, Vol. 4, N. 2. April. 1989.
- [18] F. H. Barron e B. E. Barret "Decision quality using ranked attribute weights". *Management Science*, v. 42, n. 11, pp. 1515-1523. 1996.
- [19] P. Goodwin e G. Wright *Decision analysis for management judgment*. 3 ed. England: John Wiley & Sons.
- [20] F. L. R. Mussoi e R. C. G. Teive. "Distribution System Project Selection Based on the Power Quality Value". *Proc. of the IEEE T&D-LA*. Montevideo, 8 p. 2012.
- [21] F. L. R. Mussoi and R. C. G. Teive. "A Multistage Value-Based Model for Prioritization of Distribution Projects Using a Multi-objective Genetic Algorithm". *Journal of Control, Automation and Electrical Systems*. V. 24, n. 5, pp 623-637. 2013.