

DESENVOLVIMENTO DE UM LABORATÓRIO VIRTUAL PARA CAPACITAÇÃO TECNOLÓGICA A DISTÂNCIA EM PROTEÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS

Carlos Henrique de Castro Silva – carloshenriquecs@gmail.com

Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Elétrica

Caixa Postal 6001 - Campus do Pici

60.455-760 – Fortaleza - CE

Giovanni Cordeiro Barroso – gcb@fisica.ufc.br

Universidade Federal do Ceará, Departamento de Física

Caixa Postal 6030 - Campus do Pici

60455-970 – Fortaleza - CE

Ruth Pastôra Saraiva Leão – rleao@dee.ufc.br

Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Elétrica

Caixa Postal 6001 - Campus do Pici

60.455-760 – Fortaleza - CE

Raimundo Furtado Sampaio – rfurtado@dee.ufc.br

Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Elétrica

Caixa Postal 6001 - Campus do Pici

60.455-760 – Fortaleza - CE

José Marques Soares – marques@ufc.br

Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia de Teleinformática

Caixa Postal 6007 - Campus do Pici

60755-640 – Fortaleza - CE

Resumo: *A necessidade por profissionais cada vez mais qualificados, bem como o custo associado à liberação de funcionários para participar destes cursos, forçaram a pesquisa de novas formas de treinamento que possibilitassem um bom resultado profissional e racionalizassem a disposição de recursos humanos. Para atender essa demanda, foi desenvolvido um Laboratório Virtual para Capacitação Tecnológica Presencial e a Distância em Proteção de Sistemas Elétricos. O laboratório virtual, denominado Sistema Simulador para Treinamento Presencial e a Distância da Proteção de Sistemas Elétricos (STOP), pode ser aplicado em treinamento presencial e a distância e está integrado ao Moodle, enriquecendo o ambiente com uma ferramenta capaz de simular situações reais que pode proporcionar um ensino-aprendizado mais eficaz.*

Palavras-chave: *proteção de sistemas elétricos, simulador de operação de subestação, educação à distância, funções e ajuste de proteção, laboratório virtual.*

1. INTRODUÇÃO

A constante evolução tecnológica dos sistemas de controle e proteção tem proporcionado melhoria na segurança e confiabilidade dos sistemas de potência. Em contrapartida, para acompanhar a velocidade das mudanças, garantindo a segurança e a confiabilidade dos sistemas elétricos, as empresas necessitam de profissionais qualificados, devendo para isto investir em capacitação e atualização continuadas dos profissionais próprios e terceirizadas.

No entanto, na conjuntura atual, as empresas se deparam com a dificuldade de liberação de pessoal para participar de treinamentos. Estes fatores têm conduzido à busca de soluções que venham a atender à demanda das empresas, mantendo a qualidade do processo de formação continuada (HAMURABI, 2008). O desenvolvimento na área de Tecnologia de Informação e Computação tem permitido que novas formas de treinamento sejam desenvolvidas, com recursos necessários a um treinamento com qualidade nas modalidades presencial, semipresencial e à distância. Os Ambientes Virtuais de Aprendizagem (AVAs) oferecem um conjunto de ferramentas para a realização de cursos nestas várias modalidades, que, combinadas ou isoladas, permitem a melhor convivência de aprendizes e formadores com as dimensões críticas impostas pelo distanciamento físico e temporal deste tipo de ambiente (SOARES, 2006).

No caso da Educação Tecnológica e Profissional a Distância (ETPD), o uso de ferramentas virtuais, como simuladores, tem sido uma alternativa de redução de custos para instituições de ensino e empresas. No contexto do ETPD, é desejável que os AVAs possam ser complementados por simuladores ou Laboratórios Virtuais, o que não ocorre com frequência na prática.

Algumas experiências foram realizadas com simuladores desenvolvidos especificamente para treinamento à distância. O simulador STOP, apresentado neste trabalho, é a evolução de um simulador desenvolvido utilizando a linguagem DELPHI, STPO (BEZERRA, 2008) (Sistema Simulador para Treinamento Presencial e a Distância de Operação da Proteção de Sistemas Elétricos) e que se encontra integrado ao TelEduc. Outras experiências neste mesmo segmento foram registradas, uma pela Companhia Energética de São Paulo (CESP) no treinamento à distância de operadores (FUZETO, 2003), e outra pela Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista – CTEEP (TEIXEIRA, 2003) com treinamento de operadores de subestações e despachantes utilizando simulador de treinamento para operação de sistemas elétricos.

Os treinamentos remotos com o uso de simuladores pode ser enriquecido quando associado a um AVA. Este tipo de ambiente complementa o processo de aprendizagem fornecendo recursos comunicação síncrona e assíncrona entre participantes, ferramentas para organização de material de apoio, bem como mecanismos de gestão de cursos e de avaliação. Nesse sentido o simulador apresentado neste trabalho foi agregado ao Moodle, um dos AVAs disponibilizados como *software* livre mais utilizados e bem aceitos da atualidade.

O restante deste trabalho está disposto da seguinte forma: na seção 2 é feita uma descrição do sistema Moodle e suas principais funcionalidades no apoio às aulas presenciais; na seção 3 são apresentadas a motivação para o desenvolvimento da ferramenta e a integração da mesma ao Moodle; na seção 4 é exposto o simulador e suas principais funções; na seção 5 são apresentadas as considerações finais e perspectivas para desenvolvimento futuro do simulador.

2. O MOODLE NO APOIO ÀS AULAS PRESENCIAIS

O Moodle (*Modular Object Oriented Distance Learning*) foi desenvolvido pelo australiano Martin Dougiamas em 1999, possuindo traduções para 40 idiomas, e é classificado como um AVA de código aberto, oferecendo os requisitos necessários para o trabalho proposto. A concepção e manutenção deste ambiente de aprendizagem é baseada na Pedagogia Social Construcionista (ALVES & BRITO, 2005).

O Moodle tem uma comunidade de usuários bastante colaborativa. Possuindo, atualmente, cerca de 48.000 participantes em mais de 110 países, a maioria das discussões ocorrem na comunidade internacional. Uma comunidade brasileira trabalha também no aprimoramento da plataforma, contribuindo com experiências e alterações relevantes com trabalhos colaborativos (MOODLE, 2008). Sua comunidade é composta por membros com diferentes objetivos, desde manutenção e aperfeiçoamento do sistema, a discussões referentes a estratégias pedagógicas voltadas ao melhoramento do ambiente, tornando-o cada vez melhor para o ensino (MUZINATTI, 2008).

Em vários cursos da Universidade Federal do Ceará o Moodle vem sendo utilizado como ferramenta de apoio em disciplinas de graduação e pós-graduação. No Departamento de Engenharia Elétrica, ele vem sendo empregado nas disciplinas de Proteção de Sistemas Elétricos de Potência e Geração, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica. No Centro de Tecnologia da UFC, nas disciplinas de Cálculo Fundamental (TAVARES *et al.*, 2010) dos cursos Engenharia Metalúrgica e Engenharia de Energias Renováveis e Meio Ambiente e em mais de vinte disciplinas de graduação e pós-graduação em Engenharia de Teleinformática. Entre as principais funcionalidades do ambiente em que o Moodle é utilizado, citam-se: (i) a disponibilização de material de planejamento e de acompanhamento, bem como de notas de aula; (ii) as ferramentas de interação assíncrona com os alunos, incluindo a troca de mensagens via e-mail, publicação de recados na página dos cursos, entre outros mecanismos oferecidos pelo ambiente; (iii) suporte à organização das atividades do professor, e trabalhos propostos através do ambiente; (iv) criação de questionários com correção automática e prazos determinados pelo professor. Dessa maneira, o Moodle oferece a professores e alunos um ambiente capaz de reunir a maioria das informações e eventos relevantes associados a uma disciplina.

3. O SIMULADOR DO SISTEMA ELÉTRICO

O (STOP) tem como objetivo permitir a capacitação e treinamento de pessoal e estudantes do setor elétrico através do ensino presencial e à distância via internet. A tela inicial do STOP é mostrada na Figura 1. É apresentado o diagrama unifilar da subestação com seus respectivos equipamentos de proteção e operação. No simulador, o usuário pode configurar o sistema utilizando dados de equipamentos reais utilizados no sistema elétrico de potência, bem como simular faltas e reconfigurar o sistema, fazendo ajustes de relés para coordenação e redefinição de parâmetros.

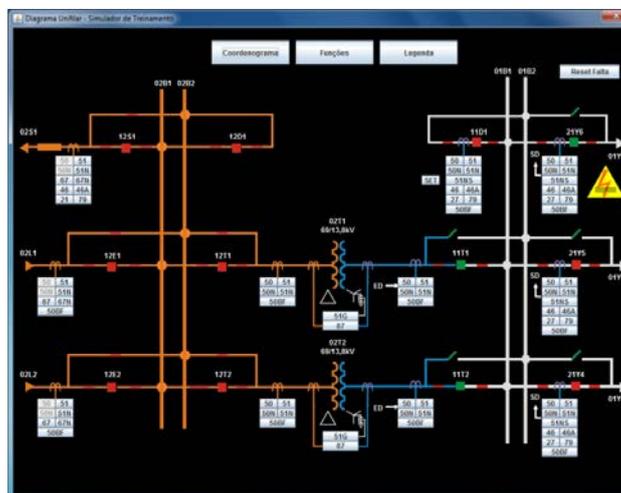


Figura 1: Diagrama unifilar, indicando a ação dos dispositivos de proteção, mostrando o local e o tipo de curto-circuito

As principais funções que o simulador dispõe para simulações no sistema elétrico, necessárias à consolidação e validação dos conhecimentos dos alunos, são:

Especificação da relação nominal dos transformadores de corrente (RTC), permitindo ao aluno a escolha de equipamentos comercialmente utilizados nos sistemas elétricos (Figura 2).

Figura 2: Especificação dos TCs

Verificação da correção do dimensionamento do equipamento utilizado, clicando no botão Dimensiona TC. Nesse caso, será exibida uma mensagem informando ao aluno se a RTC utilizada é válida ou não, baseada no critério de carga máxima e no critério de curto-circuito (Figura 3). Se o aluno escolher uma RTC não disponível no fabricante escolhido, é exibida a mensagem de erro RTC inválida (Figura 3).



Figura 3: Verificação do dimensionamento do TC

Implantação de critérios de ajuste e métodos de cálculo de cada função de proteção (51 – Sobrecorrente temporizada de fase (Figura 4), 50 – Sobrecorrente instantânea de fase (Figura 5), 50N – Sobrecorrente instantânea de neutro, 51N – Sobrecorrente temporizada de neutro, 79 – Função de Religamento, 50BF – Função falha de disjuntor, 51NS – Neutro sensível).

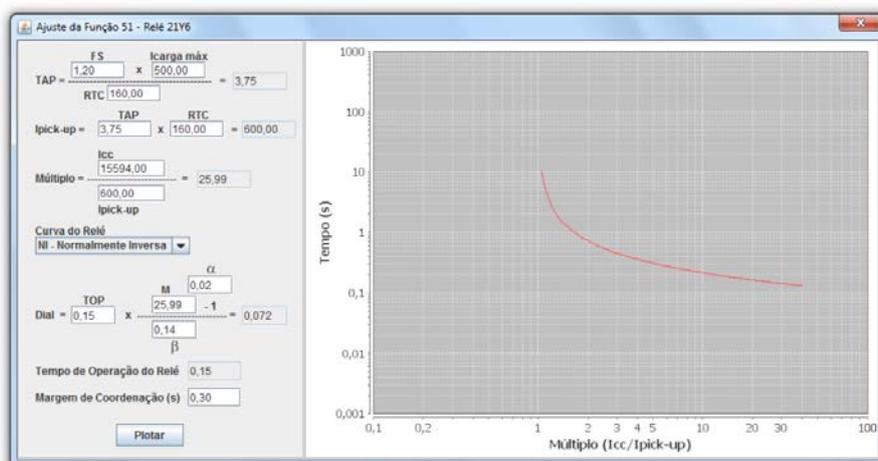


Figura 4: Configuração do ajuste da função 51

Geração de faltas em alimentadores com efeitos visuais indicativos de curtos-circuitos na tela inicial do simulador, simulação da atuação das funções de proteção, com a abertura dos disjuntores associados de acordo com o local e o tipo de falta (Figura 1).



Figura 5: Configuração do ajuste da função 50

Geração de coordenograma das proteções, após a definição das curvas e ajuste dos relés de sobrecorrente, para verificar se as proteções estão coordenadas (Figura 6).

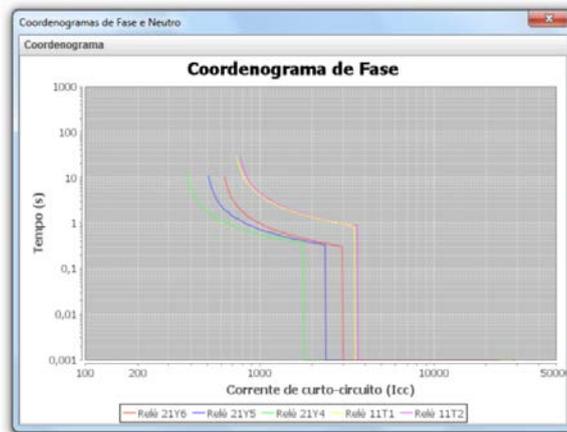


Figura 6: Coordenograma de fase

4. INTEGRAÇÃO DA FERRAMENTA AO MOODLE

Um problema que pode se apresentar com frequência para desenvolvedores que precisam agregar ferramentas previamente existentes aos AVAs é a incompatibilidade de tecnologias. Alguns simuladores são desenvolvidos em C, Delphi ou outras linguagens, enquanto que os AVAs são, em sua grande maioria, baseados em tecnologia Web. Assim, sistemas baseados em protocolos de rede desenvolvidos especificamente para acesso remoto podem ser utilizados a aplicações desenvolvidas em outras tecnologias (SOARES *et al.*, 2006). Para proceder a integração da ferramenta ao Moodle, foi criado um bloco denominado STOP (Figura 7).



Figura 7: Bloco STOP integrado ao Moodle

As funcionalidades disponíveis através do bloco STOP são:

- Simulador Formador: Permite acesso à ferramenta de acesso remoto, disponibilizado apenas para o professor/tutor (Figura 8);
- Simulador Aluno: Permite acesso à ferramenta de acesso remoto, disponibilizado para o professor/tutor e aluno (Figura 8);
- Simulador: Versão do software simulador para utilização local utilizando Java Web Start, que permite fazer download de aplicativos Java da web;
- Servidor de Mensagens: Permite acesso à configuração e gerenciamento do chat.

A principal funcionalidade do bloco desenvolvido é permitir ao professor/tutor acesso às ferramentas de configuração e controle do ambiente (Simulador Formador e Servidor de Mensagens) e, aos alunos, somente o acesso ao Simulador Aluno e Simulador. A arquitetura de integração foi projetada para acesso remoto ao simulador usando o sistema VNC (*Virtual Network Computing*). O VNC é um sistema cliente servidor que permite o acesso à interface gráfica e aos dispositivos de interação (mouse e teclado) de um computador remoto, permitindo ainda o compartilhamento deste acesso entre diversos usuários. Entretanto, um bloco de controle de acesso precisou ser desenvolvido, visto que apenas um usuário por vez pode interagir com os dispositivos de entrada do ambiente, como apresentado na próxima subseção.

4.1. Interface de acesso ao Simulador

A ferramenta desenvolvida agrega funcionalidades para a gestão do acesso ao computador remoto, além de integrar mecanismos de comunicação e colaboração. O STOP foi desenvolvido em Java, integrando as classes de um cliente TightVNC, estendendo-as para incluir algumas adaptações. A interface desta ferramenta para o formador (professor/tutor) é apresentada na Figura 2.

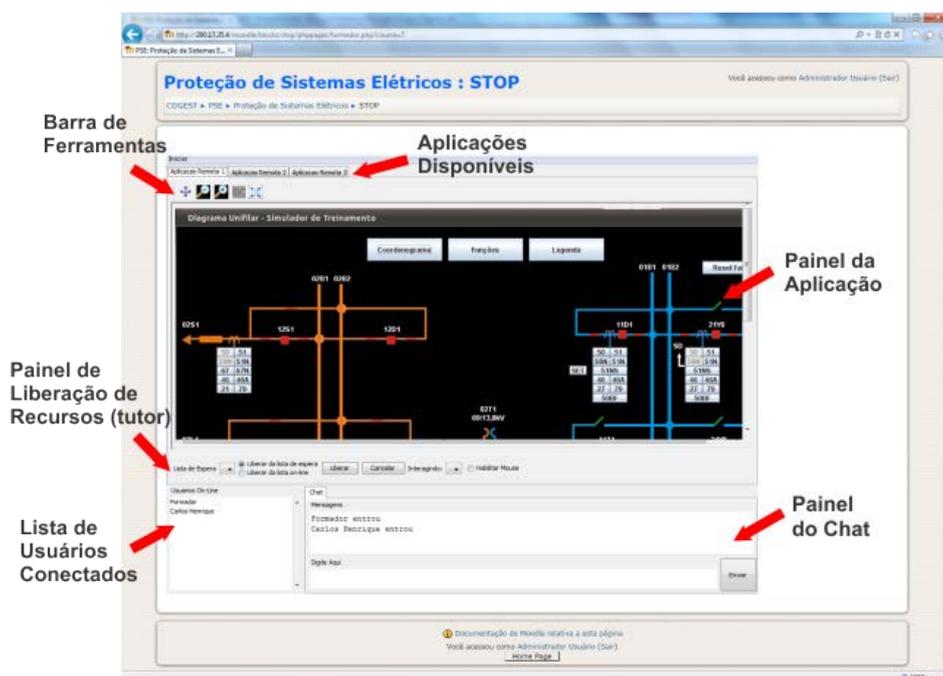


Figura 8: Interface da ferramenta de acesso remoto

Durante o início do projeto foi necessário escolher entre manter a arquitetura utilizando o VNC, ou definir uma nova arquitetura sem a necessidade de utilização do VNC, no desenvolvimento do software em Java. Optou-se pela arquitetura utilizando o VNC em virtude da possibilidade de utilização da ferramenta em cursos utilizando softwares desenvolvidos para Windows, visto que grande parte dos softwares de configuração e parametrização de equipamentos elétricos, tais como relés, são desenvolvidos exclusivamente para o sistema operacional Windows.

A interface do aluno difere da interface do formador apenas no que diz respeito ao Painel de Liberação de Recursos, que, no caso do aluno, chama-se Painel de Solicitação de Recurso, (ver Figura 9).

Os elementos da Interface são descritos a seguir:

- Aplicações disponíveis: Ambiente gráfico compartilhado em que cada aba disponível representa uma “sala de aula virtual”, podendo ser configuradas para acesso remoto pelos alunos.
- Painel da Aplicação: Corresponde à interface do computador remoto, que executa a aplicação compartilhada por tutores e alunos. O acesso a esta região é mediado pelo tutor, podendo ele atribuir ou retirar o direito de acesso a um único aluno por vez.
- Barra de Ferramentas: Contém os botões que atuam sobre o Painel da Aplicação, com opções de *pan*, *zoom in* e *zoom out*.
- Painel do *Chat* – Área onde podem ser trocadas mensagens entre alunos e tutor durante a colaboração. Quando o Painel da Aplicação é apresentado em tela cheia, o chat é transportado para uma janela suspensa.
- Lista de Usuários Conectados: Nesta parte da interface pode-se ver a lista de usuários conectados à aplicação.
- Painel de Liberação de Recursos: Neste painel, o tutor observa os pedidos de liberação de acesso à aplicação remota. Quando o aluno requisita acesso, seu nome é apresentado na lista de usuários que estão aguardando a liberação da ferramenta. Na caixa de texto status, é apresentado o nome do aluno que detém o direito de acesso no momento. Este painel não existe na interface do aluno, sendo substituído pelo Painel de Solicitação de Recursos, como mostrado na Figura 9.



Figura 9: Painel de solicitação de recursos (aluno)

A interface apresenta flexibilidade suficiente para a agregação de novos componentes. Pode-se trabalhar, por exemplo, com múltiplas instâncias do VNC na mesma interface, permitindo o acesso simultâneo a diferentes aplicações remotas em localizações distintas. Em qualquer situação, o usuário escolhe qual a aplicação que deve ser colocada em evidência no Painel da Aplicação.

4.2. Arquitetura

Os componentes da arquitetura utilizada são distribuídos como ilustrado na Figura 10. Os clientes, que são os tutores e alunos, usando um navegador, acessam o Servidor WEB em que está instalado o Moodle. Neste servidor, além do próprio Servidor Web, encontram-se em execução os seguintes módulos: um Servidor de Mensagens, responsável pela comunicação

por texto, um Módulo de Coordenação, responsável pelo controle de acesso à aplicação compartilhada, e um Refletor VNC, que faz a intermediação da comunicação com a aplicação compartilhada (*proxy*).

No Servidor de Aplicações, encontram-se em execução um Servidor VNC e a Aplicação Compartilhada. Na arquitetura proposta, o Servidor de Aplicações é situado na mesma rede local que o Servidor Web. Para o servidor de aplicações pode ser utilizado qualquer computador remoto, sendo necessária apenas que este possua conexão com a internet, um endereço ip válido e que estes parâmetros sejam passados como na configuração do servidor de mensagens de controle.

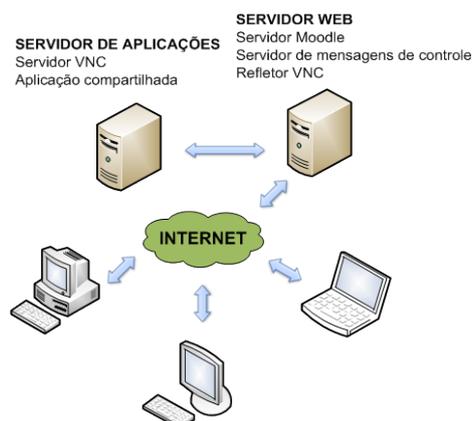


Figura 10: Distribuição dos componentes da arquitetura

O Servidor de Mensagens de Controle é um servlet que pode ser acionado remotamente e permite a configuração dos IPs das portas, e das senhas usadas pelo ambiente. A interface para esta configuração é construída em JSP (*Java Server Pages*), conforme mostrada na (Figura 11). O Servidor de Aplicações e o Servidor Web podem pertencer a redes diferentes, desde que o Servidor de Aplicações possua um IP válido e esteja executando uma aplicação *VNCServer*. Basta configurar os endereços, porta e senha como parâmetros para o Servidor de Mensagens de Controle (Figura 11).

Estado		
Inativo		
Configurações		
Porta: 35000		
Aplicações Remotas		
Servidor	Porta	Senha
200.17.35.4	80	••••••
200.17.35.6	35008	••••••
200.17.35.6	35009	••••••
Ativar		

Figura 11: Servidor de Mensagens de Controle

Um outro recurso disponibilizado é a gravação das seções. Toda a dinâmica de uma sessão síncrona entre tutor e alunos pode ser gravada na máquina do Servidor WEB. Para isso, utiliza-se o programa *vnc2flv*, uma ferramenta de gravação de tela para Linux, Windows ou Mac. Ele captura uma sessão de desktop VNC (sua própria tela ou de um computador remoto) e salva como um arquivo Flash Vídeo (FLV) para posterior consulta dos alunos, conforme ilustrado na Figura 12.

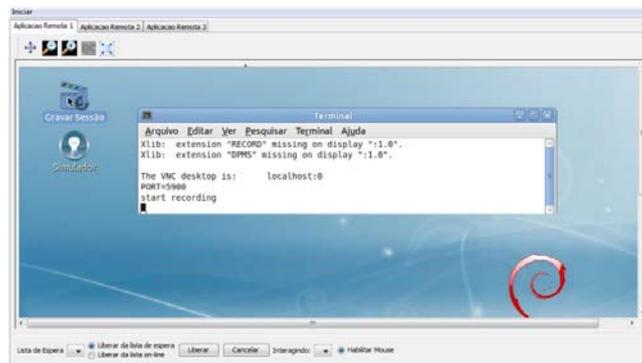


Figura 12: Gravação de uma sessão utilizando vnc2flv

O simulador desenvolvido está sendo utilizado com sucesso na disciplina de Proteção de Sistemas Elétricos de Potência do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará. O mesmo pode ser carregado para uso individual através da opção Simulador disponível no bloco STOP, através do software *Java Web Start*.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS

Neste trabalho foi apresentado o desenvolvimento de um sistema para capacitação presencial e à distância de profissionais e estudantes na área de proteção e operação de sistemas elétricos.

Além do embasamento teórico disponibilizado no Moodle, com atividades de exercício, avaliação e questionários, o sistema de capacitação oferece um simulador para treinamento da proteção e operação. O STOP é uma ferramenta capaz de simular situações reais, proporcionando um ambiente de ensino e aprendizagem presencial e à distância eficaz.

O STOP integrado ao Moodle, como apresentado neste trabalho, além de viabilizar o acesso a uma ferramenta de treinamento específico, pode ser utilizado em cenários externos aos ambientes virtuais de aprendizagem, oferecendo um suporte relevante à percepção mútua das ações efetuadas entre usuários distantes, o que é estimulado não só pela troca de mensagens síncronas através do chat, mas pelo acompanhamento da dinâmica do compartilhamento de um mesmo aplicativo, identificando o status de cada participante e permitindo a análise da interação do usuário ativo sobre a aplicação compartilhada a cada instante. As interações com o simulador, integradas aos mecanismos de comunicação fornecidos pela ferramenta e aos demais recursos oferecidos pelo AVA, permitem ao aprendiz aplicar, transformar e buscar outras informações, construindo seu conhecimento.

Novos recursos estão sendo adicionados para aprimoramento da ferramenta, são eles:

- Parametrização dos relés a partir do simulador;
- Acesso ao aluno na criação e configuração de uma subestação, de forma dinâmica, criando diferentes topologias de subestação;
- Geração da planilha de Ordem de Ajuste das Proteções (OAP) e da planilha de dados dos equipamentos a partir dos dados do STOP;
- Captura dos registros dos relés via STOP;
- Integração de ferramentas de áudio e vídeo ao ambiente virtual.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, L.; BRITO, M. **O Ambiente Moodle como Apoio ao Ensino Presencial**. 2005 Disponível em: www.abed.org.br/congresso2005/por/pdf/085tcc3.pdf. Acesso em: 11 setembro 2009.
- BEZERRA, H., **Sistema Simulador para Treinamento Presencial e a Distância de Operação da Proteção de Sistemas Elétricos**, Universidade Federal do Ceará – UFC, 2008.
- FUZETO, Jairo. Treinamento à distância de operadores com infotecnologias e recursos da web na era da cibercultura – A experiência da CESP. **SNPTEE**, Uberlândia, Minas Gerais, 2003.
- MOODLE – A Free, Open Source Course Management System for Online Learning**. Disponível em <http://moodle.org/>. Acesso em 23 de julho de 2008.
- MUZINATTI, C. M. A. **Mundo Moodle: conhecimento em construção**. Disponível em: <http://moodle.cefetgo.br/mod/resource/view.php?inpopup=true&id=93>. Acesso em: 11 abril 2008.
- SOARES **Um Sistema de Gestão para a Educação Tecnológica à Distância: Projeto e Implementação**. Dissertação de Mestrado, 2001, Universidade Federal do Ceará.
- SOARES, J. M. LEITE, F. R. MATTOS, C. L. C. BARROSO, G. C. SAMPAIO, R. F. LEÃO, R. P. S. Acesso Remoto e Compartilhamento de Simuladores através de Ambientes Virtuais de Aprendizagem. In: **Simpósio Brasileiro de Informática na Educação, XVII.**, 2006, Brasília. p. 308-317.
- TAVARES, D. A. B., FRANÇA, A. B., SOARES, J. M., CORDEIRO. N. M., MOTA, J. C. M. Integração do ambiente WIMS ao Moodle usando Arquitetura Orientada a Serviços e Compilação Automática de Médiat. In: **RENTE - Revista Novas Tecnologias na Educação**, Rio Grande do Sul, v. 8, n. 3, 2010,
- TEIXEIRA , Eugênio, de Castro. LOPEZ, Roberto Martinez. Ruy, Orlando Luiz. SANTOS, Luiz Alberto dos. FREITAS, José Antônio Simionato de. Treinamento de Operadores de Subestações e Despachantes Utilizando Simulador de Treinamento para Operação de Sistemas Elétricos. **V-SIMPASE - Simpósio de Automação de Sistemas Elétricos**, Recife, 2003.

VIRTUAL LABORATORY FOR TECHNOLOGY CLASSROOM TRAINING AND DISTANCE CLASSES ON ELETRIC SYSTEMS PROTECTION

Abstract: *The need for each time more qualified professionals, as well as the cost associated with the release of staff to attend these courses, forced the search for new forms of training that would enable nice professional results and rationalization of human resources provision. To attend this demand, we developed a Virtual Laboratory for Technology Classroom Training and Distance Classes on Eletric Systems Protection. The Virtual Laboratory, called Simulator System for Classroom Training and Distance Classes on Eletric Systems Protection (STOP), can be applied in both classroom and distance training, and is integrated to the Moodle, enriching the environment with a tool capable of simulating real situations can provide a more effective teaching-learning process.*

Key-words: protection of electrical systems, substation simulator operation, distance education, protection and adjustment functions.