

Capítulo 16

DESENVOLVIMENTO DE LABORATÓRIO REMOTO PARA SUPORTE AO ENSINO DE CONTROLE DE PROCESSOS INDUSTRIAIS PARA ESTUDANTES DE ENGENHARIA ELÉTRICA Luiz Ferreira Alves Dennis Brandão Fabrício Tietz DOI 10.22533/at.ed.75319180416

- [RESUMO | ABSTRACT](#)
- [1 | INTRODUÇÃO](#)
- [2 | MOTIVAÇÃO DO TRABALHO](#)
- [3 | OBJETIVOS](#)
- [4 | METODOLOGIA](#)
- [5 | RESULTADOS, DISCUSSÕES E CONSIDERAÇÕES](#)
- [6 | CONCLUSÕES](#)
- [REFERÊNCIAS](#)

RESUMO | ABSTRACT

RESUMO: As tecnologias digitais estão cada vez mais presentes na área da educação. Mídias interativas, ambientes virtuais de aprendizagem e laboratórios remotos são alguns exemplos de recursos apoiados em servidores web, Internet e redes de computadores aproveitando vantagens, como interatividade, facilidade de acesso e escalabilidade. Neste contexto, este trabalho apresenta a implementação de uma ferramenta baseada no protocolo de conexão remoto via Internet RDP, a qual permite que os alunos cursando o oitavo período de Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo realizem práticas experimentais a distância com uma planta industrial didática real, pela disciplina “SEL0431 – Laboratório de Controle de Processos Industriais”. Será possível concluir, com uma pesquisa conduzida com os alunos, quais vantagens são obtidas com a adição do acesso remoto em comparação com o método exclusivamente presencial. Maior acessibilidade e flexibilidade em relação a horários e locais para operar a planta, simplicidade para acessar o equipamento, redução no tempo de conclusão dos experimentos e possibilidade de abertura de turmas maiores são alguns dos prós. O artigo ainda discute a viabilidade da implementação de acesso remoto para outras disciplinas práticas e seu impacto no processo de aprendizagem dos estudantes.

ABSTRACT: Digital technologies are increasingly present in the area of education. Interactive media, virtual learning environments and remote laboratories are some examples of resources based on web servers, Internet and computer networks taking advantages such as interactivity, ease of access and scalability. In this context, this work presents the implementation of a tool based on RDP remote connection protocol via Internet, which allows Electrical Engineering students attending the eighth period at the University of São Paulo to perform practical experiments at a distance with a real didactic industrial plant for the subject “SEL0431 – Industrial Processes Control Laboratory”. From a research carried out with the students, it will be possible to conclude which advantages are obtained from the increment of a remote access tool in comparison with the exclusively classroom method. Greater accessibility and flexibility in relation to schedules and locations to operate the plant, simplicity to access the equipment, reduction in the time to complete the experiments and the possibility of creating larger classes are some of the pros. The article also discusses the feasibility of implementing remote access to other practical disciplines and its impact on the learning process of the students

1 | INTRODUÇÃO

A evolução das tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC) revolucionaram diversos aspectos da vida humana, afetando tarefas como comunicar-se com pessoas distantes geograficamente, buscar conhecimento, adquirir conteúdo multimídia e realizar compras de produtos importados. Essas e outras atividades cotidianas, antes restringidas por falta de recursos tecnológicos, estão vivenciando uma mudança de paradigma devido principalmente à expansão e popularização da rede mundial de computadores e telecomunicações. Estima-se que, somente no Brasil, há 120 milhões de usuários da Internet, 156 milhões de smartphones e 154 milhões de computadores e tablets ((UNCTAD), 2017).

As vantagens dessa gama de mídias e tecnologias existentes, como “facilidade de acesso, uso intuitivo e interativo, escalabilidade e flexibilidade de data e local de uso são algumas características que tornam as TDIC cada vez mais presentes no mundo da educação” (ASSANTE; TRONCONI, 2015, p. 479). Diversas plataformas de apoio que utilizam a Internet, mídias interativas e dispositivos móveis estão surgindo e alterando o paradigma do sistema educacional.

Tradicionalmente, o processo de ensino-aprendizagem é baseado no docente como figura central transmitindo informações aos discentes em uma sala de aula, enquanto que, conforme Sung (2015), com o uso de recursos digitais os alunos participam de forma mais colaborativa e autônoma do seu próprio processo de aprendizagem e não estão restritos a um local ou data específicos para buscar conhecimento ou se relacionar com o docente responsável.

Exemplos consagrados de plataformas adotadas por instituições, alunos e professores são Ambientes Virtuais de Aprendizagem (AVA), cursos on-line que podem ser agendados a qualquer momento ou de qualquer local, tutoriais e vídeo-aulas em websites, laboratórios virtuais e remotos e aplicativos.

Apesar das inúmeras vantagens que cada plataforma possui, a implementação de um determinado recurso deve considerar as necessidades e o domínio tecnológico dos estudantes envolvidos. Para o caso de disciplinas experimentais de instituições de ensino superior ou técnico, os estudantes possuem bom domínio das ferramentas de informática e acesso frequente a algum dispositivo conectado à rede, seja um computador de uso pessoal ou um celular. Contudo, limitações como a carga horária insuficiente para completar os experimentos e salas com grande número de alunos para poucos equipamentos, podem prejudicar a aprendizagem dos alunos ou desmotivá-los durante a disciplina.

Para superar essas limitações, há instituições que optam por implementar laboratórios remotos. Segundo Garcia-Zubia, Lopez-de-Ipiña e Orduña (2008, p. 620), “seu propósito é permitir com que os discentes realizem práticas com sistemas e equipamentos reais acessados através da Internet, porém com uma sensação de interatividade e controle do experimento comparável aos laboratórios tradicionais”, de tal forma a contribuir com o aprendizado de quem realiza o experimento.

A Universidade de León criou um site onde os estudantes cadastrados nas disciplinas de Engenharia de Controle e Automação Avançada pudessem monitorar e controlar uma planta industrial didática composta por quatro reservatórios de água e equipamentos industriais (DOMÍNGUEZ et al., 2011). A partir de um portal web, a Università Telematica Internazionale permite aos alunos do curso de engenharia elétrica controlar uma célula fotovoltaica remotamente (ASSANTE; TRONCONI, 2015). Outras universidades utilizam diversas soluções para criar laboratórios acessíveis por quaisquer alunos do mundo que tenham uma conta registrada em um banco de dados. O MIT iLab (HARWARD, 2008) e o WebLab-Deusto (QIAO et al., 2010) são dois exemplos clássicos de laboratórios remotos.

Conforme Gomes e Bogosyan (2009), os requisitos que norteiam a criação de laboratórios remotos são: escalabilidade para suportar uma grande quantidade de estudantes, facilidade para realizar o experimento, visualizar e obter seus dados, visto que a prática não é presencial, baixo tempo de resposta entre os comandos dados pelos estudantes e a resposta do sistema, facilidade de uso e interação com o equipamento, e uso de soluções de hardware e software abertas e de baixo custo.

Além da implementação do laboratório remoto, a avaliação contínua da disciplina e da ferramenta são importantes para garantir que os estudantes sejam positivamente impactados e se sintam motivados a concluir os experimentos, como feito em Melkonyan, Akopian e Cheng (2009) e em Domínguez et al. (2011).

2 | MOTIVAÇÃO DO TRABALHO

A principal motivação para este trabalho é dar suporte aos estudantes de Engenharia Elétrica da Universidade de São Paulo (USP) que cursam a disciplina SEL0431 – Laboratório de Controle de Processos Industriais. Para isso foram analisados o perfil dos discentes matriculados, a dinâmica da disciplina e o feedback dos mesmos sobre as práticas experimentais e recursos disponíveis.

Os estudantes matriculados cursam o sexto, oitavo ou décimo períodos, possuem conhecimentos em informática, automação e controle, adquiridos em disciplinas prévias, e têm uma quantidade média de 30 a 35 horas-aula semanais. Esta disciplina é optativa, porém, é limitada a duas turmas de 16 alunos cada, um número abaixo da demanda de um curso com 100 novos estudantes a cada ano.

2.1 Dinâmica da disciplina e descrição resumida da planta didática

Uma turma é separada em 4 grupos com 4 estudantes em cada grupo. Essa divisão é feita em função da quantidade de experimentos simultâneos feitos com a planta didática industrial mostrada na Figura 1. Esta planta foi construída por alunos de Engenharia do campus de São Carlos da USP e possui três malhas de controle distintas: uma malha de controle de temperatura da água que circula pela planta; uma de controle de nível de água dos reservatórios acrílicos; e uma de controle de fluxo de água pelo sistema. Cada malha possui seu próprio controlador lógico programável (CLP), portanto, é possível realizar os experimentos simultaneamente. A quarta prática consiste no desenvolvimento de um sistema de supervisão das variáveis de processo das malhas de controle.



Figura 1. Planta industrial didática utilizada na disciplina.

Fonte: Próprio autor (2018).

Este equipamento possui diversos instrumentos, como sensores, inversores de frequência, transmissores, bombas d'água e atuadores de fabricantes distintos, cada um ligado ao controlador da sua respectiva malha de controle, além de diferentes redes de campo industriais: PROFIBUS, HART e Modbus. Para se conectarem à planta, os grupos utilizam computadores no próprio laboratório, os quais possuem os programas necessários para realizar cada experimento, ligados à rede local do laboratório via Ethernet, assim como cada CLP. Em 2016, primeiro ano em que esta planta foi utilizada, as práticas eram todas presenciais.

O objetivo de cada prática é desenvolver um programa para controlar em modo manual, através dos botões do painel elétrico, e automático as variáveis de processo de cada malha: vazão, temperatura ou nível de um reservatório a escolha, e monitorar essas variáveis no caso da prática de sistema supervisório. O prazo para conclusão de cada projeto é três semanas com uma aula de 1:40 de duração por semana. Ao final deste prazo, cada grupo inicia outra prática.

2.2 Identificação de necessidades da disciplina pelo feedback dos alunos

Ao final de cada prática, os integrantes responderam um formulário com questões referentes à qualidade do material didático e tutoriais disponíveis para realização dos experimentos, ao tempo de conclusão da prática, à experiência com a planta didática, além de identificar sugestões e necessidades dos alunos durante a execução da prática. Os tutoriais de apoio às práticas e o formulário, cujas questões são expostas na Tabela 1, estão hospedados no Moodle, um AVA para gerenciamento de cursos on-line. Nas questões cujas respostas possíveis são 0 a 10, 0 equivale a “discordo completamente” e 10, a “concordo completamente”.

	No.	Questão	Respostas possíveis
--	-----	---------	---------------------

Identificação do grupo	1	Em qual prática o grupo está trabalhando?	1.temperatura 2.nível 3.vazão 4.supervisão
	2	A qual grupo você pertence?	1/2/3/4
	3	Qual o dia de aula deste grupo?	Quarta/Quinta
Questões de avaliação dos aspectos da disciplina	1	Os objetivos desta prática e as instruções dadas para atingi-la foram claros?	0 a 10
	2	Experimentos com a planta didática auxiliaram no aprendizado de controle de processos industriais?	0 a 10
	3	Os monitores e professor conseguiram sanar suas dúvidas?	0 a 10
	4	Você se sentiu motivado a realizar os experimentos com a planta?	0 a 10
	5	Você se sentiu confiante/confortável para realizar os experimentos?	0 a 10
	6	Foi fácil obter os dados da planta?	0 a 10
	7	Foi fácil operar a planta e concluir o experimento?	0 a 10
	8	Práticas semelhantes devem ser criadas para outras disciplinas?	0 a 10
	9	Foi necessário interagir com outros grupos?	0 a 10
	10	Qual o tempo de conclusão da prática (semanas)?	1, 2, 3 ou mais
	11	A prática cumpriu com as suas expectativas?	0 a 10
	12	O material disposto no Moodle foi suficiente?	0 a 10
	13	Quais etapas tomaram mais tempo?	Aberta
	14	Sugestões adicionais	Aberta

Tabela 1. Formulário de avaliação contínua de Laboratório de Controle de Processos Industriais.

Fonte: Próprio autor (2018).

Foram coletadas 64 respostas para o formulário, e a partir destas, foi possível tirar as seguintes conclusões:

1. 25% das práticas tomaram mais de 3 semanas para serem concluídas;
2. O tempo médio que um grupo levou para concluir uma prática, sem considerar a elaboração dos relatórios, foi de aproximadamente 3.1 semanas (3.8 para prática de nível, 3.4 para prática de vazão, 2.9 para prática de supervisão, 2.1 para temperatura);
3. O tempo médio de conclusão das práticas diminuiu ao longo do semestre;
4. Durante as primeiras semanas, foi necessário operar a planta em horários alternativos para concluir os experimentos;
5. Alguns estudantes não conseguiram adiantar as práticas fora da sala de aula pois alguns programas não são gratuitos;
6. As maiores notas foram para as perguntas “Você se sentiu motivado a realizar os experimentos com a planta? ”, com média 9,6 e “Práticas semelhantes devem ser criadas para outras disciplinas? ”, com média 9,8;
7. As piores notas foram para as perguntas “Foi fácil obter os dados da planta? ”, com média 7,7 e “Foi necessário interagir com outros grupos? ”, com média 6,3.

Analisando os resultados e considerando a falta de horários extras disponíveis para operar a planta, visto que há outras disciplinas ministradas no mesmo laboratório, concluiu-se que seria vantajosa a introdução de uma ferramenta que permitisse com que os alunos operassem a planta remotamente.

3 | OBJETIVOS

Os objetivos centrais deste trabalho foram implementar uma ferramenta que tornasse possível o acesso remoto da planta didática utilizada para ensino de controle de processos industriais para alunos da Engenharia Elétrica a partir de qualquer dispositivo com conexão a Internet e elaborar uma pesquisa com os discentes matriculados para analisar quais as principais vantagens e desvantagens dos experimentos realizados a distância através da ferramenta selecionada.

4 | METODOLOGIA

O primeiro passo para iniciar o desenvolvimento da ferramenta de acesso remoto foi analisar quais os requisitos para este projeto e quais as limitações desta implementação.

Para ser acessível via rede, a planta necessita de algum equipamento com conexão a Internet. Somente os CLP possuem um endereço Internet Protocol (IP), contudo, eles estão conectados à rede local do laboratório e não são acessíveis fora desta rede local. Implementar um dispositivo que conecte os elementos da planta à Internet exige atenção quanto aos aspectos de segurança tanto a nível de rede quanto a nível físico. Isso exige que algumas medidas sejam adotadas, como por exemplo, autenticação do usuário conectado remotamente a planta, criptografia de mensagens, além de um CLP, já presente na planta, inacessível aos alunos e que garanta o seu funcionamento da em condições seguras.

Programas e protocolos livres de licença que funcionem em máquinas e dispositivos móveis com diferentes sistemas operacionais (SO): Windows, Linux, MAC OS, Android e iOS são os principais, e que suportem múltiplos usuários trabalhando simultaneamente desde que não seja na mesma prática, porque um CLP só aceita uma conexão por vez.

Acesso à planta e a seus dados deve ser intuitivo, rápido e prático e o tempo de resposta entre uma requisição do usuário e uma ação da planta didática deve ser baixo. Altas latências prejudicam a experiência do usuário com o instrumento de acesso à distância.

A sensação de interação com a planta mesmo distante também é um fator importante, portanto, recursos adicionais como câmeras de vídeo e um sistema supervisório redundante monitorando e demonstrando o estado das variáveis da planta em tempo real devem ser acrescentados.

Considerando todos os requisitos para este projeto, o próximo passo é pesquisar na literatura trabalhos sobre acesso remoto e laboratórios remotos, analisar quais são as principais soluções disponíveis, e concluir qual delas é a mais adequada para este trabalho, julgando se adaptações serão necessárias.

Alguns trabalhos descrevem laboratórios remotos que utilizam servidores web e proxy para acessar uma rede local com CLP operando plantas didáticas (BERMÚDEZORTEGA et al., 2015; DOMÍNGUEZ et al., 2011). Estes servidores separam a Internet da rede interna, onde operam os CLPs, e somam-se a configurações de firewall para adicionar uma camada de segurança entre elas prevenindo ataques externos à rede do laboratório. Com o advento dos microcomputadores, como a Raspberry Pi, o usuário se conecta diretamente a este dispositivo, dispensando configurações de rede mais complexas e usufruindo das vantagens de um hardware de baixo custo (SAHIN; OLMEZ; ISLER, 2010).

Há uma solução alternativa à implementação de um servidor web: são os aplicativos de acesso remoto. Melkonyan, Akopian e Chen (2009) realizam um estudo comparando as principais

aplicações quanto a preço, sistemas operacionais (SO) e recursos disponíveis, como TeamViewer, Remote Desktop, entre outros.

4.1 Desenvolvimento da ferramenta de acesso remoto para a planta

A solução adotada foi embarcar uma máquina DELL Inspiron com Windows 7 à planta industrial para atuar como gateway entre a rede local do laboratório e a rede da Universidade, a USPNet. As razões que nortearam essa escolha foram:

1. Hardware com memória e processamento suficiente para instalação e operação dos programas necessários: TIA Portal para programação dos CLPs da Siemens, Citrino Tools para programação do CLP Fertron para controle da malha de nível, e Elipse SCADA para a prática de supervisão;
2. Os programas utilizados são compatíveis apenas com algumas versões do Windows, e a versão 7 é utilizada no laboratório;
3. Possibilidade de implementar e gerenciar conexões simultâneas, exigindo autenticação para acesso de usuário no servidor;
4. Disponibilidade deste equipamento em laboratório.

Este computador recebe um endereço IP externo fixo, acessível através da USPNet, e que foi substituído por um nome para facilidade de conexão: “sel0431.ddns.net”. Para acesso remoto, foi escolhido o protocolo Remote Desktop Protocol (RDP), suportado por diversos programas. Logo, o computador embarcado ao equipamento industrial é um servidor RDP, e as máquinas utilizadas pelos alunos para conexão com o servidor são os clientes (HUTCHINSON; BEKKERING, 2009). Os principais motivos pelos quais este trabalho opta por programas operando com base em RDP foram:

1. Os programas de conexão remota baseados em RDP são gratuitos e podem vir instalados previamente na máquina dos alunos;
2. Com algumas alterações em configurações do Windows 7, o RDP funciona com clientes conectados simultaneamente;
3. Apesar deste computador atuar como servidor Windows, os clientes podem acessá-lo a partir de máquinas com diferentes SO. Para um usuário com máquina operando Windows, este programa é o Remote Desktop Connection; com Linux, Remmina Remote Desktop Client; com MAC OS, Android ou iOS, Microsoft Remote Desktop. As interfaces destes programas são muito similares entre si;
4. Interface simples de conexão ao servidor;
5. Criptografia de 128 bits na camada de transporte de dados;
6. Suporte a transferência de arquivos, áudio e vídeo;
7. Baixo tempo de resposta entre o acontecimento dos eventos do sistema e o que é visualizado pelo usuário.

Ao acessar o endereço do servidor, o cliente deve inserir as credenciais de usuário, que consistem em um nome, que corresponde ao nome da prática: TEMPERATURA, SUPERVISAO, VAZAO ou NIVEL, e uma senha. Ao inserir esses dados, o estudante tem acesso à Área de Trabalho do usuário, com todos os programas necessários, como mostrado na Figura 2. Este protocolo é

utilizado em aplicações de virtualização de áreas de trabalho, para que o cliente tenha acesso ao mesmo ambiente que ele acessa presencialmente no laboratório.

Os usuários que estão fora do alcance da rede USPNet devem acessá-la por meio de uma Rede Privada Virtual (VPN) (TANENBAUM; WHETERALL, 2011, p. 515), através de um programa open source da empresa Cisco, chamado Cisco AnyConnect Secure Mobile Client também é multiplataforma e exige autenticação do cliente, que só consegue conexão à rede caso tenha login e senha USP.

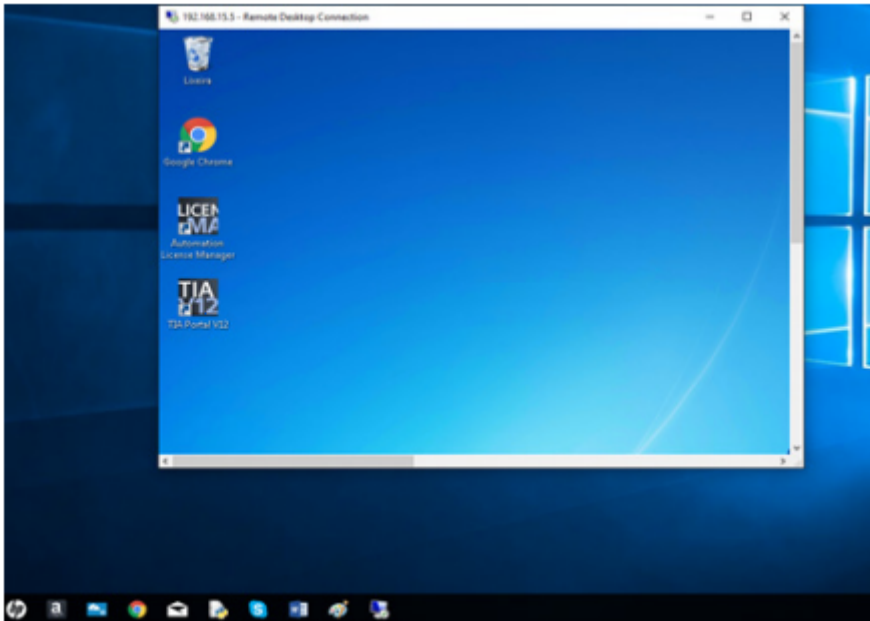


Figura 2. Exemplo de acesso remoto ao usuário de nível no servidor.

Fonte: Próprio autor (2018).

Os tutoriais para conexão à USPNet via VPN e ao servidor por algum software baseado no protocolo RDP estão no AVA da disciplina, assim como os tutoriais para realização das práticas.

Ainda que a decisão pelos recursos utilizados considere vários requisitos e aspectos de segurança, a implementação da ferramenta é transparente aos estudantes. Ao acessar um usuário no servidor, eles possuem permissões restringidas por um usuário administrador disponível somente para os tutores e docente da disciplina. As únicas tarefas permitidas são fazer login em algum usuário padrão do servidor, trabalhar com os programas disponíveis na área de trabalho, navegar pela web e fazer logoff ou trocar usuário. A arquitetura da implementação desta ferramenta é exposta na Figura 3.

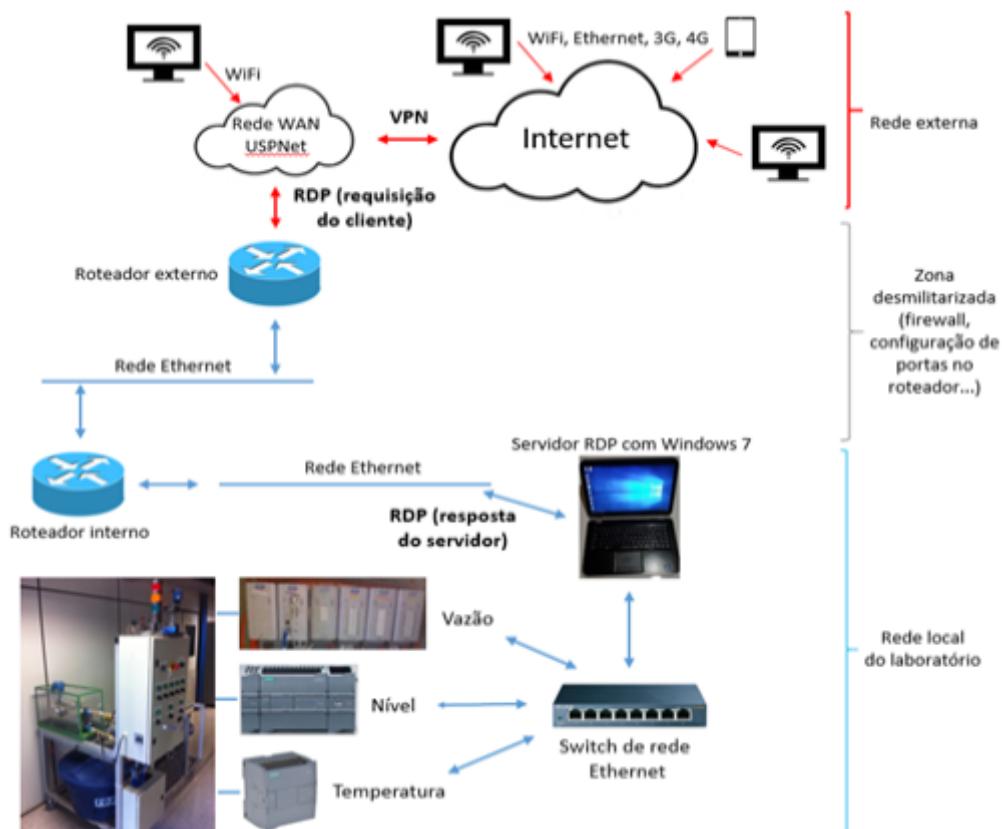


Figura 3. Arquitetura do sistema após a implementação da ferramenta de acesso remoto.

Fonte: Próprio autor (2018).

4.2 Recursos adicionais para suporte ao acesso remoto

Ao operar presencialmente a planta didática, o aluno visualiza os estados das variáveis de processo, controla a planta pelos botões no painel e observa os eventos que ocorrem nela. Assim como em outros casos de laboratórios remotos, houve a necessidade de implementar alguns recursos no servidor para que os clientes não perdessem informações sobre a planta durante sua operação remota. Por esse motivo, foram instaladas 3 câmeras, cada uma focada em um ponto da planta, cujas interfaces foram gerenciadas pelo software Yawcam.

Outro recurso adicional é um sistema supervisor via web, que captura os valores de todas as variáveis dos CLPs da planta e as expõe em um website (TIETZ; BRANDÃO; ALVES, 2017). Este trabalho é independente da implementação do acesso remoto e foi aplicado aos CLP para servir como um sistema de monitoramento redundante ao que é desenvolvido em uma das práticas, e de fácil visualização para os estudantes conectados. Esses recursos, expostos na Figura 4, são inicializados automaticamente no início de uma sessão.



Figura 4. Sistema supervisório redundante e câmeras inicializadas após o logon no servidor.

Fonte: Próprio autor (2018)

O último recurso extra implementado é um software gratuito que registra o histórico das sessões com o servidor, denominado UserLock. Ele está acessível somente para o administrador e fornece informações como o IP da máquina cliente, qual o usuário ao qual ela se conectou e datas de acesso, conforme Figura 5.

The screenshot shows the 'UserLock - Reports - Session history' interface. The left sidebar contains navigation options: Welcome, Servers, Protected accounts, Messages, User sessions, Agent distribution, Reports, Session history (selected), User status history, Session statistics, Concurrent session history, and Session count evolution. The main area displays a table titled 'SESSION HISTORY' with the following columns: Logon time, Logoff time, User, Domain, Computer, Client name, and Client IP. The table contains several rows of session data.

Logon time	Logoff time	User	Domain	Computer	Client name	Client IP
23/11/2017 23:40:22	23/11/2017 01:45:43	USUARIO-PC\usuario	USUARIO-PC	USUARIO-PC	USUARIO-PC	192.168.253
24/11/2017 08:59:42	24/11/2017 17:30:11	USUARIO-PC\usuario	USUARIO-PC	USUARIO-PC	USUARIO-PC	127.0.0.1
24/11/2017 08:46:29	24/11/2017 08:54:42	USUARIO-PC\TEMPERATURA	USUARIO-PC	USUARIO-PC	FABRICO-HP	143.107.182.231
24/11/2017 08:54:15	24/11/2017 08:55:10	USUARIO-PC\VAZAO	USUARIO-PC	USUARIO-PC	CENTRAL-PC	143.107.182.231
24/11/2017 08:55:48	24/11/2017 08:57:10	USUARIO-PC\VAZAO	USUARIO-PC	USUARIO-PC	FABRICO-HP	143.107.182.231
24/11/2017 08:56:16	24/11/2017 08:56:41	USUARIO-PC\NIVEL	USUARIO-PC	USUARIO-PC	CENTRAL-PC	143.107.182.231
24/11/2017 08:56:36	24/11/2017 08:57:12	USUARIO-PC\SUPERVISAO	USUARIO-PC	USUARIO-PC	CENTRAL-PC	143.107.182.231
24/11/2017 08:57:29	24/11/2017 08:57:52	USUARIO-PC\NIVEL	USUARIO-PC	USUARIO-PC	FABRICO-HP	143.107.182.231

Figura 5. Exemplo de tela de monitoramento de sessões RDP com o programa UserLock.

Fonte: Próprio autor (2018).

A partir da análise deste registro histórico, é possível calcular qual o tempo total acessado por cada cliente, o número de acessos e concluir, desta maneira, se a ferramenta auxiliou em reduzir o tempo de conclusão das práticas.

4.3 Formulário de avaliação da ferramenta de acesso remoto

Aliadas aos dados de registro dos acessos, as respostas de um formulário de avaliação permitem deduzir quão efetiva foi a introdução de um laboratório remoto baseado em RDP sobre VPN para a disciplina e para o aprendizado dos estudantes matriculados. Por esse motivo, foi elaborado um formulário de avaliação da ferramenta de acesso remoto, paralelo aquele cujas questões estão na Tabela 1. As questões presentes estão organizadas na Tabela 2, mostrada abaixo.

	No.	Questão	Respostas possíveis
Identificação do grupo	1	Em qual prática o grupo está trabalhando?	1.temperatura 2.nível 3.vazão 4.supervisão
	2	A qual grupo você pertence?	1/2/3/4
	3	Qual o dia de aula deste grupo?	Quarta/Quinta
Questões de avaliação dos aspectos da conexão remota	1	Qual a quantidade de acessos que você fez?	Aberta
	2	Qual a duração de cada acesso feito?	Aberta
	3	Qual o meio utilizado para realizar o acesso? E qual o sistema operacional deste meio?	Aberta
	4	Qual o tempo de conclusão da prática (semanas)?	1, 2, 3 ou mais
	5	É sua primeira experiência com laboratório remoto?	Sim ou não
	6	Avalie a disponibilidade de usar a planta com o acréscimo do acesso remoto.	0 (não mudou nada) a 10 (aumentou muito)
	7	Você se sente mais seguro usando a planta via remota em relação a prática presencial?	0 (indiferente) a 10 (sinto-me muito mais seguro)
	8	É fácil conectar-se ao servidor?	0 (muito difícil) a 10 (muito fácil)
	9	É fácil obter os dados da planta e observar quais eventos estão ocorrendo?	0 (muito difícil) a 10 (muito fácil)
	10	Tive sensação de controle sobre meu experimento, não tive dificuldades em interagir com a planta.	0 (discordo completamente) a 10 (concordo completamente)
	11	Me senti motivado a operar a planta remotamente.	0 (discordo completamente) a 10 (concordo completamente)

12	Me senti confiante/confortável operando a planta remotamente.	0 (discordo completamente) a 10 (concordo completamente)
13	Quão útil foi a ferramenta de acesso remoto para você?	0 (nada útil) a 10 (muito útil)
14	Quais vantagens e desvantagens de usar acesso remoto para experimentos didáticos? Dê sugestões adicionais.	Aberta
15	Quais recursos você utilizou (transferência de arquivo, acesso à Internet...)?	Aberta
16	Eu recomendaria o uso de laboratórios remotos para outras disciplinas.	0 (jamais) a 10 (recomendaria fortemente)

Tabela 2. Questionário de avaliação do instrumento de acesso remoto da disciplina SEL0431.

Fonte: Próprio autor (2018).

5 | RESULTADOS, DISCUSSÕES E CONSIDERAÇÕES

A planta didática funcionou de forma adequada mesmo quando operada remotamente e todos os requisitos listados na sessão 4 foram cumpridos:

1. O atraso para recepção dos eventos da planta e envio de informações para a mesma foi irrelevante e não comprometeu as práticas;
2. Em alguns momentos dois clientes estiveram conectados simultaneamente, mas em usuários diferentes;
3. A segurança foi adequadamente implementada neste trabalho, desde o nível físico com um CLP dedicado, ao nível de criptografia com o protocolo RDP e autenticação na conexão à USPNet;
4. As únicas exigências aos estudantes que se conectaram à planta foram o acesso à USPNet, diretamente ou por VPN, e ao programa baseado no protocolo RDP. Todas as outras implementações foram transparentes.

O laboratório remoto serviu como uma extensão do laboratório presencial, portanto, optou-se por uma solução de fácil acesso que replicasse o ambiente em que o discente realiza seus testes, com os mesmos aplicativos e recursos.

Apesar dos resultados positivos, houve algumas dificuldades durante o desenrolar do projeto e que merecem atenção quando futuros trabalhos baseados na mesma solução apresentada aqui forem implementados:

1. Originalmente o RDP não permite dois usuários conectados ao mesmo servidor Windows. Quando uma máquina cliente está conectada a um usuário, ela bloqueia o acesso a outros usuários automaticamente, e essa situação é contornada modificando o arquivo termsrv.dll;
2. Quando uma máquina cliente está conectada a um usuário, se outro cliente se conectar a esse mesmo usuário, ele invade a sessão e desconecta o cliente previamente conectado sem aviso, o que pode acarretar na perda de dados. Um script utilizando a ferramenta PowerShell altera as atribuições de direito dos usuários. Assim, enquanto um usuário estiver com uma sessão iniciada, outros clientes só podem se conectar a outros usuários livres até ele encerrar a sessão;
3. Para permitir a conexão via RDP ao servidor foi necessário liberar o acesso à porta 3389. Isso exigiu a permissão do setor de informática;

4. Durante acesso remoto, a operação no modo manual fica comprometida. Foram escritos tutoriais que explicam como forçar entradas via software, sem necessidade de comutar as chaves fisicamente no painel.

Ainda que a planta disponibilizasse mais horários para realização das práticas, ela não possui um laboratório exclusivo e divide a mesma sala com outras disciplinas e equipamentos. Assim, ela estava disponível somente às sextas-feiras.

Foram registrados 57 acessos de 15 máquinas diferentes. A quantidade de acessos é mostrada percentualmente pela Figura 6: foram 22 acessos ao usuário de nível, 16 ao de vazão, 12 ao de supervisão e 7 ao de temperatura.

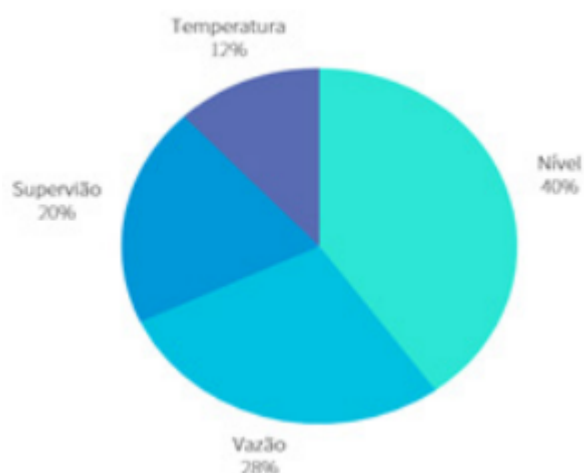


Figura 6. Percentual de acessos de cada usuário em relação ao total.

Fonte: Próprio autor (2018).

Além do número de acessos, é possível comparar, pela Figura 7, o tempo médio de conclusão de cada prática no ano de 2017, considerando somente as práticas já finalizadas e com o suporte do laboratório remoto, com tempo médio medido no ano passado, onde os experimentos ocorriam somente durante as aulas.

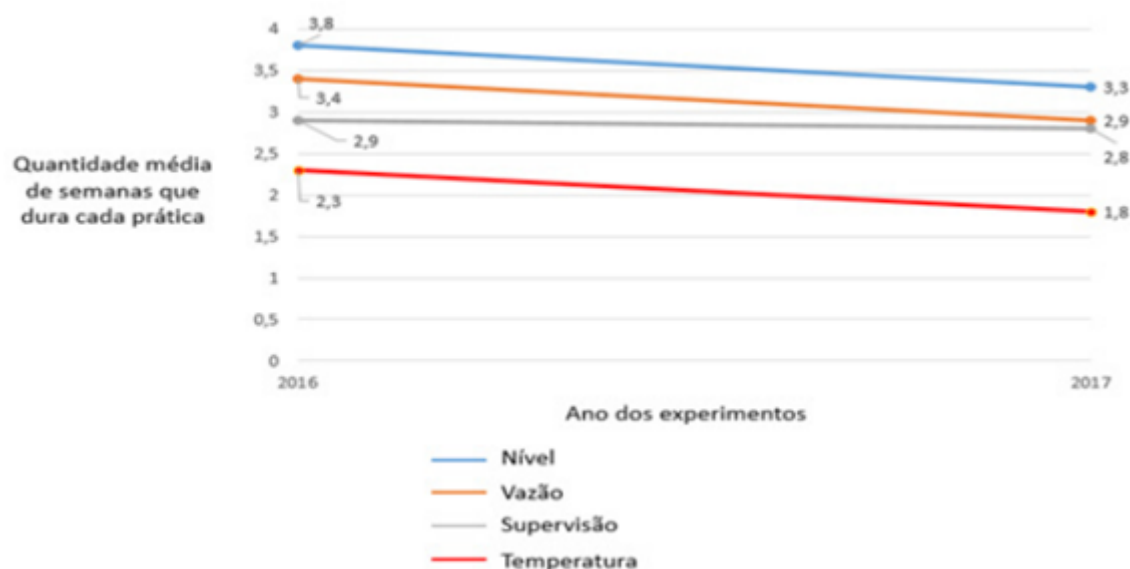


Figura 7. Tempo médio de conclusão das práticas nos anos de 2016 e 2017.

Fonte: Próprio autor (2018).

Enquanto os questionários não estão respondidos por todos os alunos, é possível comparar os relatórios e os projetos desenvolvidos pelos alunos nos dois anos. Em 2017, alguns grupos realizaram alguns testes a mais, como por exemplo, dois grupos diferentes que durante a prática de controle de nível conseguiram trabalhar com os dois reservatórios acrílicos, e não somente com um como é inicialmente proposto. Outro exemplo foram alguns grupos da prática de temperatura, o quais controlaram também a abertura de uma das válvulas solenoides e, dessa maneira, regularam a temperatura de um dos reservatórios.

6 | CONCLUSÕES

A pouca disponibilidade de tempo para as práticas da disciplina, a falta de equipamentos e recursos financeiramente acessíveis, o custo da licença de alguns programas e a carga horária extensa são fatores que, aliados à difusão e popularização das tecnologias digitais, motivaram a criação de um sistema de acesso remoto embarcado à planta.

O uso da ferramenta por parte de alguns alunos reduziu o tempo médio de conclusão de cada prática, e auxiliou no processo de aprendizagem de controle de processos industriais porque permitiu que o tempo economizado fosse preenchido em sala de aula com experimentos diferentes, permitindo que os alunos explorassem melhor os recursos da planta didática. A única ressalva é quanto a prática de sistema supervisório, que depende de outros usuários operando a planta para registrar as mudanças nas variáveis monitoradas, logo, apesar do número de acessos, não apresentou muita variação no tempo médio de término.

Concluiu-se também que as práticas com maior grau de complexidade e que exigiram mais tempo para serem concluídas exigiram mais acessos ao servidor.

Por envolver vários equipamentos industriais diferentes e complementar o ensino de conteúdos importantes, como teoria de controle, automação, redes de comunicação industriais e programação de controladores industriais, a disciplina SEL0431 – Laboratório de Controle de Processos Industriais poderia ser aproveitada em outros cursos. A ferramenta de acesso remoto aumenta a disponibilidade de uso da planta, contudo, utiliza a infraestrutura de rede da USP, o que limita seu uso a estudantes que pertencem a esta Universidade. Além disso, seu uso por um número muito grande de estudantes torna conveniente a criação de um instrumento para agendamento de conexões.

O exemplo apresentado neste projeto apresentou alguns obstáculos técnicos por trabalhar com múltiplos usuários simultâneos e diversos requisitos. Contudo, as restrições pouco prejudicaram a experiência dos alunos com o laboratório remoto e a solução apresentada, baseada no protocolo RDP funcionando sobre a rede da Universidade, é replicável para outras disciplinas.

REFERÊNCIAS

ASSANTE, Dario; TRONCONI, Massimo. **A remotely accessible photovoltaic system as didactic laboratory for electrical engineering courses**. 2015 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON), [s.l.], p.479-485, mar. 2015. IEEE. Disponível em . Acesso em 13 nov. 2016.

BERMÚDEZ-ORTEGA, J. et al. **Remote Web-based Control Laboratory for Mobile Devices based on EjsS, Raspberry Pi and Node.js**. IFAC-PapersOnLine, [s.l.], v. 48, n. 29, p.158-163, 2015. Elsevier BV. Disponível em: . Acesso em 4 dez. 2016.

Conferência das Nações Unidas sobre Comércio e Desenvolvimento (UNCTAD). **Economia da Informação 2017: Digitalização, Comércio e Desenvolvimento**. Geneva: Nações Unidas, 2017. 130 p. Disponível em: <http://unctad.org/en/PublicationsLibrary/ier2017_en.pdf>. Acesso em: 23 out. 2017.

DOMÍNGUEZ, M. et al. **Remote laboratory of a quadruple tank process for learning in control engineering using different industrial controllers**. Computer Applications In Engineering Education, [s.l.], v. 22, n. 3, p.375-386, 20 jun. 2011. Wiley-Blackwell. Disponível em: . Acesso em 1 dez. 2017.

GARCIA-ZUBIA, J.; LOPEZ-DE-IPÍÑA, D.; ORDUÑA, P. **Mobile Devices and Remote Labs in Engineering Education**. 2008 Eighth IEEE International Conference On Advanced Learning Technologies, [s.l.], p.620-622, jul. 2008. IEEE. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1109/icalt.2008.303>>. Acesso em 24 nov. 2016.

GOMES, L.; BOGOSYAN, S. **Current Trends in Remote Laboratories**. IEEE Transactions On Industrial Electronics, [s.l.], v. 56, n. 12, p.4744-4756, dez. 2009. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1109/tie.2009.2033293>>. Acesso em 2 nov. 2016.

HARWARD, V. J. et al. The iLab Shared Architecture: **A Web Services Infrastructure to Build Communities of Internet Accessible Laboratories**. Proceedings Of The IEEE, [s.l.], v. 96, n. 6, p.931-950, jun. 2008. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1109/jproc.2008.921607>>. Acesso em 30 nov. 2016.

HUTCHINSON, D.; BEKKERING E. **Using Remote Desktop Applications in Education**. Information Systems Education Journal, [s.l.], v. 7, n. 13, pp. 1-13, mar. 2009. Proceedings of ISECON. Disponível em: <<http://isedj.org/7/13/>>. Acesso em 4 jul. 2017.

MELKONYAN, Arsen; AKOPIAN, David; CHEN, C. L. Philip. **Work in progress - real-time remote Internet-based communication laboratory**. 2009 39th IEEE Frontiers In Education Conference, [s.l.], p.1-6, out. 2009. IEEE. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1109/fie.2009.5350825>>. Acesso em 15 nov. 2016.

QIAO, Yuliang et al. **NCSLab: A Web-Based Global-Scale Control Laboratory with Rich Interactive Features**. IEEE Transactions On Industrial Electronics, [s.l.], v. 57, n. 10, p.3253-3265, out. 2010. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1109/tie.2009.2027924>>. Acesso em 10 nov. 2016.

SAHIN, Savas; OLMEZ, Mehmet; ISLER, Yalçın. **Microcontroller-Based Experimental Setup and Experiments for SCADA Education**. IEEE Transactions On Education, [s.l.], v. 53, n. 3, p.437-444, ago. 2010. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1109/te.2009.2026739>>. Acesso em 30 out. 2016.

SUNG, Joung-souk. **Design of Smart Learning in Mobile Environment**. International Journal of Software Engineering and Its Applications, [s.l.], v. 12, n. 9, p.373-380, set. 2015. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.14257/ijseia.2015.9.12.33>>. Acesso em 4 jun. 2017.

TANENBAUM, Andrew; WHETERALL, David. **Redes de Computadores**. 5. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2011. 582 p.

TIETZ, F.; BRANDÃO D; ALVES, L. F. **Development of an Internet of Things Gateway Applied to a Multitask Industrial Plant**. In: IEEE/IAS INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRY APPLICATIONS, 11-14 Novembro 2018, São Paulo, Brasil.