

ANÁLISE DE MÉTODOS PRÁTICOS DE ENSINO DE AUTOMAÇÃO PARA PROCESSOS INDUSTRIAIS: EQUIPAMENTO FÍSICO E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Otávio dos Santos Gaijuti – otavio.gaijuti@fatec.sp.gov.br
Universidade Estadual de Campinas – Faculdade de Engenharia Química
Avenida Albert Einstein, 500 – Cidade Universitária Zeferino Vaz
13083-852 – Campinas – SP

Flávio Vasconcelos da Silva – flavio@feq.unicamp.br
Universidade Estadual de Campinas – Faculdade de Engenharia Química
Avenida Albert Einstein, 500 – Cidade Universitária Zeferino Vaz
13083-852 – Campinas – SP

Resumo: No contexto do ensino de engenharias, em particular da engenharia de controle & automação, são bem conhecidas as dificuldades no aprendizado do tema 'Sistemas de Controle de Processos Contínuos' (RANADE; SALAZAR; RODRIGUES, 2012). Esse assunto não é específico da engenharia de automação & controle, mas cada vez mais associados às demais outras áreas da engenharia, como a química, mecânica, computação, civil etc. Apresenta-se neste presente trabalho a importância desse tema, os problemas que surgem da falta desse conhecimento, o impacto do laboratório de ensino de engenharia nesse processo, e alguns limites da simulação computacional para fins didáticos. Relaciona-se a esses tópicos a questão da sustentabilidade e impactos ambientais, que podem ser origem de problemas ou de soluções, ainda na escola de engenharia. A partir dessa avaliação contextual se realizou uma pesquisa documental, por meio de dados obtidos de uma experiência didática com turmas de alunos de graduação. A síntese desses dados e sua posterior análise apontam para métodos mais eficazes de aprendizado do tema, relacionadas ao ensino dessa área dos Sistemas de Controle para Processos Contínuos.

Palavras-chave: Ensino de engenharia. Sistemas de controle industrial. Laboratórios didáticos. Software de simulação. Sintonia de controladores PID.

1 INTRODUÇÃO

O ensino de engenharia é uma área onde se enfrentam muitos desafios pedagógicos, mas que também desfruta de contínua oportunidade de inovação. Não há dúvidas de que todas formas e áreas da educação precisam de inovações. No entanto, dada a natureza eminentemente prática das engenharias, o ensino pode ocorrer de formas múltiplas, e com impactos distintos no aprendizado. Isso porque, além do amplo espectro de conhecimentos teóricos de uma dada engenharia, são incontáveis as formas práticas de se ensinar e aprender essas ciências (DUTRA; MILHOMEM; NEVES, 2017).

Os investimentos em laboratórios de ensino chegam facilmente à casa dos milhões – de reais ou dólares. Claro não que isso não é exatamente um luxo, mas sim, pura e simples necessidade: nas engenharias as aulas práticas são indispensáveis, para que conhecimentos teóricos possam ser realmente assimilados (FEISEL; ROSA, 2005).

Além disso, cada uma das áreas de engenharias – química, elétrica, mecânica, civil, computação, e automação – se sobrepõem e coexistem regularmente, e positivamente. Por

isso, existem muitos conhecimentos em comum entre essas diversas áreas, relacionados, principalmente, aos fenômenos físicos ou transformações químicas. Contudo, as engenharias bem que deveriam falar em linguagem comum – algo que, na verdade, nem sempre acontece. Nickerson et al (2007) autores mencionam as “*tricky terminologies*”, usadas em comum nas várias engenharias, mas com significados bem diferentes.

Dessas áreas de engenharia mencionadas, todas sempre dependem fortemente uma das outras. Entretanto, uma delas se infiltra, até permeando as demais, mas sempre de forma construtiva, jamais competitiva. Nos referimos à engenharia de controle e automação de processos contínuos. Como breves exemplos: a engenharia química precisa de automação de caldeiras, colunas, reatores. A engenharia elétrica precisa regular geradores, conversores, máquinas. A engenharia mecânica emprega atuadores de posição, velocidade, força. Etc.

No entanto, ainda que o assunto controle e automação seja apresentado em muitas das engenharias, costuma-se enfrentar dois problemas. O primeiro problema é convencer os estudantes da importância de assimilar esse conhecimento difícil: a teoria matemática de controle. O segundo problema é saber como ensinar o assunto de modo que seja bem assimilado pelos estudantes: a prática de controle. Um terceiro problema é a variedade de ferramentas computacionais, como resolvedores e simuladores, que facilitam os projetos de controle mas que, no entanto, podem ser complicadas de se usar.

Assim, este presente estudo avaliou modos de como resolver ou aliviar os três problemas apresentados. A forma do estudo é de uma pesquisa documental, que analisou dados obtidos de experiências em laboratórios de aulas práticas. Foram avaliados dois métodos de aulas práticas, aplicados de modo unitário, para diferentes grupos de controle. Como primeiro método, tem-se equipamento físico didático, que é uma planta de controle completa. Como segundo método, tem-se software simulador, capaz de reproduzir, dinamicamente, inúmeras experiências sobre controle.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho é qualificar qual método de ensino prático que pode propiciar melhor aprendizado do tema. De antemão, sabe-se que, na realidade, é necessário apresentar ambos métodos aos discentes desse assunto. Ou seja, é esperado que nas aulas práticas se aprenda a usar planta física, e, também, os simuladores: eles se complementam vantajosamente (MA; NICKERSON, 2006). No entanto, este estudo avalia cada um desses métodos de modo isolado, como se fosse a única opção para cada grupo de controle – o que, às vezes, acaba sendo o caso. Algumas faculdades de engenharia não dispõem de laboratório físico de controle, ou não possui software adequado ao assunto de automação.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Conforme exposto na introdução, avaliou-se nesta pesquisa o quanto que o método de ensino prático pode influenciar na assimilação do assunto automação, por parte de estudantes de graduação em tecnologias e engenharias.

Convém aqui nesse preâmbulo fazer um resgate do termo “Automação”. Nesta pesquisa, essa palavra está ligada ao Controle de Processos Contínuos. Nas faculdades de engenharias de automação & controle, aprende-se também o Controle de Processos Discretos, que tipicamente leva o nome de Mecatrônica. Ainda que seja uma área tecnológica essencial, e que também tem seus desafios pedagógicos, não tratamos da mecatrônica neste trabalho, mas tão somente da automação.

Nas seguintes subseções apresentam-se bases teóricas e científicas para esta pesquisa, relacionando com possibilidades de inovação e sustentabilidade, no ensino de engenharias.

2.1 A importância de se aprender bem Automação

As soluções de automação têm aplicabilidade muito ampla, indo desde fins industriais (plantas produtivas), militares (foguetes) e científicas (levitação magnética), mas também passando por fins domésticos (geladeiras), domótica (casas inteligentes) e transportes civis (veículos autoguiados). Sua história é antiga, conforme relata Bennet (1996), começando na Babilônia, passando pela Grécia antiga. Esse autor também relaciona que, de meados de 1955 em diante, passou-se a considerar a era do controle moderno. Suas primeiras aplicações foram no auxílio de operação de navios cargueiros. Assim, pode-se notar, o quanto que controle e automação são assuntos relativamente antigos.

No entanto isso não significa conhecimento dominado. Muitos autores, como Ogata (2010), Aström e Haglünd (2002), e Franchi (2014), relatam que o Controlador P-I-D (Proporcional-Integrador-Derivativo) é o mais usado na prática, há muitas décadas, e sem decepções: é de fato uma solução realmente boa. No entanto, na maioria de seus usos, o dispositivo não está na sua melhor condição – ou sua sintonia ótima, conforme jargão da área. Pois, conforme Campos e Teixeira (2010) mencionam, chega a 80% o número desses controladores em campo, no modo de operação chamado Sintonia Automática nas mais diversas plantas industriais típicas. Esse modo de sintonia automática costuma ser funcional, e de fato resolve grande parte dos casos, além de reduzir drasticamente os esforços de implantação e manutenção. Entretanto, se a sintonia automática for adotada sem cuidados, o resultado pode ser baixa performance do equipamento, ou até mesmo danos físicos.

O motivo dessa tendência, em se usar sintonia automática, é justamente pela exigência de conhecimento que se requer, seja para realizar a Sintonia Manual, ou para melhorar a automática – o que também é possível. Para fazer isso, de modo seguro e econômico, há que se ter bons conhecimentos, em matemática e em software, mas também nos fenômenos físico-químicos envolvidos, além de noções eletromecânicas sobre os equipamentos atuadores.

Franchi (2014) argumenta que essa questão de sintonia ruim em processos industriais é uma das causas de baixa produtividade a nível fabril. Por isso o impacto pode se estender por toda a cadeia de suprimentos, desde a transformação dos insumos, à produção em escala, até a chegada do produto ao consumidor. Em última instância, pode chegar a influenciar na competitividade de uma nação.

Um outro aspecto importante da automação está no quesito sustentabilidade. São inúmeras as malhas de controle automático aplicadas para reduzir o impacto ambiental das plantas industriais, por meio da otimização do consumo de insumos (matéria-prima), utilidades (energia elétrica, combustíveis etc.), limitação de emissão de poluentes, e até na logística (interna e externa à empresa). Menciona-se também as malhas de segurança, que monitoram os equipamentos, alertando os operadores ou até tomando ação, em casos de situações anormais, que poderiam causar desastres ambientais.

2.2 Desafios educacionais acerca do tema Automação

Um dos motivadores dessa tendência em se usar Sintonia Automática é devido ao conhecimento matemático necessário, necessário para as análises de plantas industriais controladas. É um conhecimento de amplo teor teórico, mas que requer prática para sua

compreensão. Esse aspecto prático tende a ser bem atendido nas graduações: grande parte dos professores do assunto ‘controle’ são engenheiros com experiência prática no ramo. Assim, suas aulas práticas costumam ser eficazes (MOLISANI, 2017). Por outro lado, tais professores nem sempre focam suficientemente nos aspectos matemáticos.

Além disso, muitos professores bem como os estudantes costumam ter dificuldades com a matemática. Essa dificuldade é realidade a nível mundial, apresentando tendências de piora entre 2012 a 2015, segundo a OECD (2016). E lamentavelmente, em se tratando do Brasil, temos agravantes. Nossa pátria figura como a quarta posição mundial em matemática... do pior para o melhor. Estamos na posição 68º, de um total de 72 países (OECD, 2016).

Como se sabe, a matemática de automação é multidisciplinar e multidomínio. Ela exige capacidades de abstração, que normalmente não é ensinada em igual profundidade, nas diversas escolas de engenharia (RANADE; SALAZAR; RODRIGUES, 2012).

Não bastasse a matemática, também é necessário conhecimentos avançados em software, para se trabalhar com sistemas de controle industrial. Guzmán et al. (2016) mostram que, por meio de software livre, pode-se aprender e praticar muitos tópicos e aplicações de controle. Porém, para se usar tais programas, há ainda outros requisitos, tais como lógica de programação, desenvolvimento de fluxogramas, tratamento de dados etc.

Em questão de impacto ambiental, que as plantas industriais causam inevitavelmente, a falta de competências e habilidades nesse assunto de automação e controle, pode ser agravada pela necessidade de conhecimentos adicionais em físico-química. Caso houvesse maior conscientização dos estudantes a esse respeito, muitas plantas ineficientes que operam no dia-a-dia poderiam ser melhoradas, para minimizar suas reações indesejadas no meio ambiente.

2.3 Importância das aulas práticas nas Engenharias

Como solução para os problemas de aprendizagem, são desejáveis as inovações no ensino de engenharia. Dutra, Milhomem e Neves (2017) apresentaram um caso onde se vê claramente a importância de laboratórios no aprendizado de conhecimentos práticos como esse, de sistemas de controle.

Assim, não há dúvidas da importância e necessidade de laboratórios nessa área da educação (FEISEL; ROSA, 2005). Esses autores mencionam, porém, algumas questões orçamentárias, referente aos curtos limites orçamentários, em termos de investimento em laboratórios. Por isso se avaliam métodos alternativos de acesso às aulas práticas.

Os pesquisadores Ma e Nickerson (2006) mostram algumas diferenças entre os laboratórios ‘mão na massa’ (equipamentos físicos), laboratórios virtuais (simuladores), e laboratórios-remotos (teleoperados). Esses labs-remotos apresentam grandes vantagens, pois além de serem equipamentos reais, seu custo e manutenção pode ser dividido entre várias instituições. O trabalho de Alliet-Gaubert et al. (2012) mostra um caso de sucesso, envolvendo labs-remotos, entre Brasil e França.

No entanto, ainda Alliet-Gaubert et al. (2012) ressaltam que labs-remotos somente devem ser adotados se complementares à prática experimental, jamais em substituição. Segundo eles, ‘a interação entre estudante e equipamento não deve ser subestimada, e nem substituída (inteiramente) por técnicas virtuais’ [em tradução livre].

Os laboratórios de ensino de engenharia, físicos ou virtuais, podem ser muito convenientes no quesito de sustentabilidade. Esses recursos didáticos podem ajudar na conscientização dos estudantes quanto às responsabilidades, riscos e consequências, quando plantas industriais operam em regimes instáveis ou forçados. Pode-se assim reproduzir, limitadamente, situações de possível desastre ambiental.

2.4 Vantagens e desvantagens da Simulação no ensino de Engenharias

Assim, em função das típicas limitações das faculdades, em termos de orçamento para equipamento ou de espaço físico para labs, ou ainda de conhecimento dos professores, hoje em dia adota-se largamente a prática de uso de simuladores no ensino das engenharias. Isso é de se esperar, pois na verdade, as indústrias já adotam essas ferramentas no seu cotidiano (JAHANGIRIAN et al., 2010; KLATT; MARQUARDT, 2009). Assim, os estudantes de hoje devem conhecer o software que usarão amanhã (GREPINO; RODRIGUES, 2015).

Suas vantagens são muitas: menor custo (ZHANG et al., 2013); menores tempos de preparo de desmonte, ausência de falhas e mal contatos (MA; NICKERSON, 2006); maior variedade de experiências (RASTEIRO et al., 2009); etc. Como mostra Komulainen (2012): ‘as experiências confirmam, que os simuladores dinâmicos comerciais, provêm treinamento realístico, e pode ser integrado com sucesso em cursos de graduação e pós-graduação’.

Evidentemente, nem tudo são vantagens, e há críticos quanto ao uso de simuladores no ensino de engenharias. Segundo McLellan (1995, apud MA; NICKERSON, 2006), ‘o que os estudantes aprendem primariamente com simuladores, é como executar simulações’. Mesmo se a tarefa for para um grupo de estudantes, resultados podem ser encontrados individualmente – o que pode facilitar o plágio (ZHANG et al., 2013). Além disso, conforme Feisel e Rosa (2005) afirmam, ‘simulação é boa somente tanto quanto os modelos usados’. Na ausência de colegas e professores para validar os resultados, o aluno pode ser induzido a credulidade e até equívocos.

3 METODOLOGIA

Em função de seus objetivos, essa pesquisa segue a forma de Pesquisa Descritiva, pois tenta descobrir relação entre a variável independente (o método de ensino prático), e a variável dependente (que é o resultado acadêmico).

O Delineamento da pesquisa é Documental. Os dados documentais são oriundos de experiências didáticas voluntárias, em uma disciplina prática de “Sistemas de Controle”. O professor dessa disciplina é o primeiro autor deste artigo, O. S. Gaijuti, em seu exercício profissional na instituição a saber. No papel de professor, foi realizado por conta própria experiências planejadas de método de ensino, junto às suas turmas. Por se tratar de uma disciplina difícil, foi a própria necessidade que motivou o professor na busca por inovação. Esse professor obteve registros devidamente organizados, tomou cuidados em relação a omissões e tendências, e seus dados estão preservados e disponíveis.

A instituição de ensino superior que colaborou nessa pesquisa é a Faculdade de Tecnologia Tatuí, Fatec Tatuí, mantida pelo Estado de SP, sob autarquia do Centro Paula Souza. As turmas e alunos participantes pertenceram (já graduados) ao curso de Tecnologia em Automação Industrial.

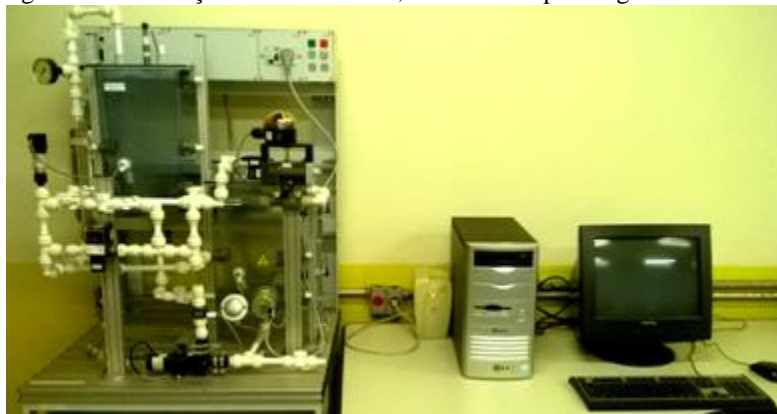
Foram duas turmas da mesma disciplina Sistemas de Controle Prática, tarde e noite, por três semestres. O conteúdo teórico (revisão e preparo) foi o mesmo para ambos grupos, ao modo tradicional: lousa, giz, datashow, portfólio de atividades.

Já o conteúdo prático foi ministrado para todos alunos, mas de forma diferenciada. A cada semestre, uma turma passava por laboratório de equipamento físico, e a outra turma passava por laboratório de simulação computacional. A esses alunos foi aplicado um Questionário de Conhecimentos (QC), no início e ao final do semestre. Somente foi possível

perguntar sobre esse assunto no início, pois a disciplina Sistemas de Controle Teoria fora apresentada por outro professor, em semestres anteriores.

O equipamento físico adotado nessas experiências foi uma miniestação didática, marca Festo®, modelo MPS-PA©. Essa planta é um conjunto muito completo, com sensores e atuadores, mais comunicação a um computador, ilustrada na Figura 1. Uma típica aquisição de dados dos seus instrumentos é mostrada na Figura 2. As aulas nesse equipamento foram limitadas a um bloco de duas horas-aula (100 minutos), quatro vezes por semestre. Foi requerido dos alunos o preparo de relatório sobre a experiência. Não foi possível que eles repetissem a experiência, por conta de agendamento do laboratório.

Figura 1: miniestação Festo MPS-PA, com um PC para registro e controle



Fonte: arquivo do autor

Figura 2: Exemplo de aquisição de dados dos sensores da MPS-PA

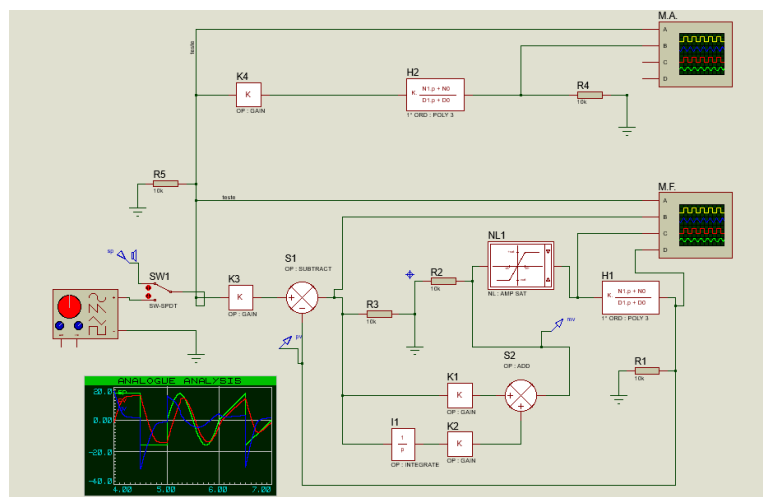


Fonte: arquivo do autor

O software simulador adotado, para o grupo correspondente, é da marca Labcenter®, suite Proteus®, um sofisticado simulador interativo e dinâmico de eletrônica, e capaz de reproduzir funções de transferência (sistemas físicos), de diversas ordens, em tempo quase-real. Uma tela exemplo do Proteus é apresentada na Figura 3. Um exemplo de resposta dos instrumentos virtuais é mostrado na Figura 4.

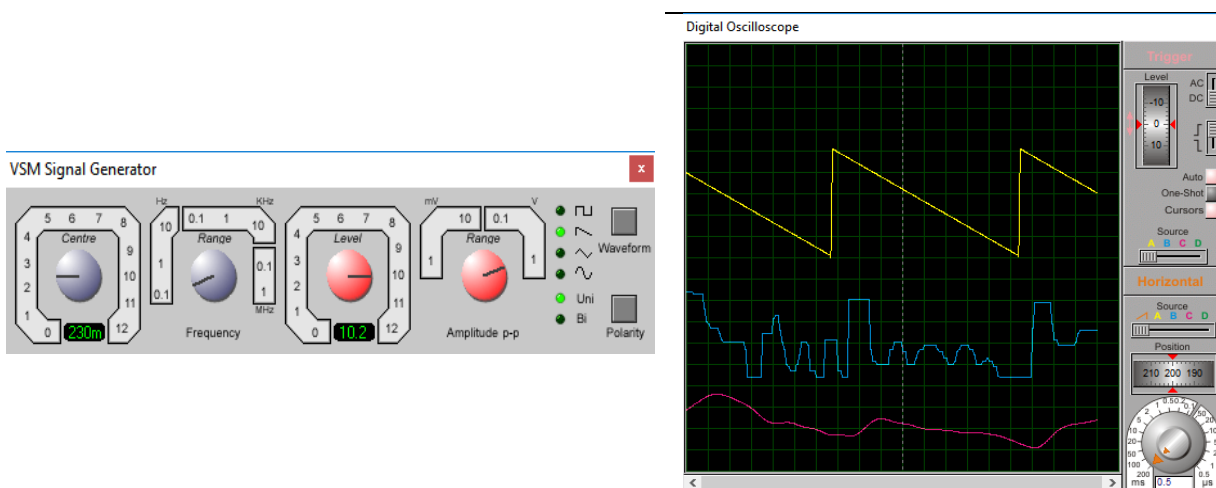
Apesar de poderoso, esse programa pode ser executado em computadores comuns, com velocidade satisfatória. As aulas de simulação também foram limitadas a um bloco de duas horas-aula (100 minutos), quatro vezes por semestre. Foi requerido dos alunos o preparo de relatório sobre a experiência. Essas aulas foram iniciadas em laboratório de informática, mas com a possibilidade (e o incentivo) dos alunos continuarem a simulação, em outro momento.

Figura 3: Tela do Proteus com simulação e resposta de planta não-linear com e sem controlador P-I-D



Fonte: arquivo do autor

Figura 4: Instrumentos virtuais: Gerador de funções, e Respostas em osciloscópio de até quatro canais.



Fonte: arquivo do autor

Pelo exposto, define-se a seguir o Objeto e os Sujeitos dessa pesquisa.

O Objeto é o ensino de tópicos da grande área de Sistemas de Controle Contínuo, ou Automação. Esses tópicos são: 1) modelagem matemática de processos industriais; 2) análise de respostas e estabilidade do sistema; e 3) sintonia de controlador PID.

Os Sujeitos são os alunos da experiência realizada pelo mencionado professor. Conforme já apresentado, foram alunos do curso de Automação Industrial da Fatec Tatuí.

Foram três semestres (2016/2ºS; 2017/1ºS; 2017/2ºS), sendo duas turmas por semestre, totalizando assim seis turmas. Cada turma variou dentre apenas sete a até 27 alunos. O total de participantes, ao longo da experiência foi de 94 estudantes. A escolha desses estudantes foi devido ao fato de que muitos desses estudantes costumam ser empregados pelas indústrias da região, tais como químicas, ou alimentos, ou sucroalcooleira. Essa classe de indústrias, dentre outras, dependem fortemente dos conhecimentos e competências em automação.

No que tange a análise dessa pesquisa documental, as ferramentas matemáticas e estatística para processar os dados foram simples somatórias, médias e desvio padrão, e nem todas são publicadas nesse presente documento. Os dados são oriundos dos questionários de conhecimento (QC), a qual os sujeitos responderam, durante a experiência didática do professor. Qualquer informação publicada será sempre referente à média dos alunos, jamais havendo qualquer identificação individual dos sujeitos. Os resultados se apresentam na Seção 4, e seu impacto é avaliado na Seção 5.

4 – REGISTROS E SÍNTESE

Ao começo de cada semestre, na ocasião da primeira aula, o professor apresentou os tópicos da disciplina, sendo: modelagem matemática de sistemas de controle; análise de resposta e estabilidade; e sintonia de malha fechada. A seguir, relacionou com exemplos cotidianos, e associou com tópicos de disciplina vista em semestre anterior, como: funções de transferência, transformada de Laplace, sistemas em blocos.

Na segunda aula, tendo os tópicos já apresentados, o professor aplicou um questionário de conhecimentos inicial (QCI) sobre esses assuntos, a título de avaliação diagnóstica – dessa vez, valendo nota. Eram 15 questões de quatro opções, com uma certa. Esse QCI não foi resolvido nem comentado nas próximas aulas, ficando os alunos apenas cientes do seu resultado individual. Após isso, decorreu-se o semestre normalmente, com as aulas teóricas, e práticas conforme métodos.

Antes de terminar o semestre, o professor reaplicou o questionário de conhecimento final (QCF), alcançando 71% dos sujeitos, pois houve alunos que perderam ou o QCI ou o QCF. Mas jamais foram todos de uma mesma turma. Ou seja, todos grupos foram amostrados pelo QC, em sua maioria de participantes, no início e ao final do processo.

Assim a Tabela 1 apresenta a quantidade de alunos que participaram, conforme o método, e qual foi a média de acertos desses sujeitos, dentre as 15 questões, também a título de avaliação, e valendo nota. Na Seção 5 deste trabalho fazemos comentários sobre esse resultado.

Tabela 1: Síntese dos QCs: média de acertos dentre as 15 questões de conhecimento

	Indivíduos	Média QCI	Média QCF
Planta Simulada	35	6,8	7,0
Equipamento Físico	59	6,7	8,1

Fonte: síntese do autor

Esses resultados apresentados são pontuais e sintéticos, sendo que houveram outras medições, análises e sínteses, realizadas com os dados, mas não aqui publicadas.

5 - DISCUSSÃO

A partir dos registros sumarizados na Tabela 1, apresenta-se agora o comparativo de progresso dos sujeitos na forma dos dois grupos controle, sendo: um da prática em planta física, e outro da prática em planta simulada.

Assim, consta na Tabela 2 o comparativo entre o número de acertos no questionário de conhecimento, que o sujeito teve em relação ao objeto, antes e depois das aulas teóricas e práticas.

Tabela 2: Melhoria nos acertos, da avaliação final em relação à inicial

	Média QCI	Média QCF	Progresso
Planta Simulada	6,8	7,0	3%
Equipamento Físico	6,7	8,1	21%

Fonte: síntese do autor

Como se pode observar na Tabela 2, coluna “QCI”, a média de acertos iniciais dos dois grupos foi praticamente a mesma, antes de passarem por esse ou aquele método didático de laboratório. A coluna “QCF” demonstra qual foi a média de acertos, após cada grupo passar pelos métodos didáticos de laboratório. Ao final, conforme a coluna “Progresso”, nota-se o aparente progresso de cada grupo, em função do método didático.

Relembrando o objetivo desta pesquisa, que é o de “qualificar qual método de ensino prático que pode propiciar melhor aprendizado do tema”, o ‘progresso’ de 21% apresentado na Tabela 2 indicaria que equipamentos físicos tendem a melhorar a compreensão dos estudantes, nesse tema em particular.

Entretanto, embora pareça relativamente pequeno o progresso do grupo que passou pela planta simulada, sendo de 3% apenas, esse grupo saiu com a vantagem de ter aprendido a aplicar uma ferramenta computacional.

6 - CONCLUSÃO

O campo do ensino da engenharia oferece enormes oportunidades de inovação, e normalmente, necessita dessas inovações. Cada área de engenharia tem suas dificuldades de ensino, que se juntam aos distúrbios de aprendizagem que se notam nos estudantes. Por isso, é somente através de inovações, que se conseguirá superar esses desafios pedagógicos.

Pelas experiências realizadas e pela análise dos dados, nota-se que dessas inovações podem surtir resultados muito positivos. Isso se aplica ao estudo específico de sistemas de controle, com seus desafios acadêmicos. Uma das consequências adicionais dessas inovações, é o de maior conscientização sobre sustentabilidade, e a implicação disso na operação de sistemas industriais visando minimizar seus impactos ambientais.

Sobre essas experiências, haveriam outras análises possíveis de se realizar, apenas com os dados já adquiridos. Como é uma pesquisa descritiva, essa presente pesquisa compartilha seus achados, de modo a favorecer novas pesquisas mais aprofundadas.

Agradecimentos

O primeiro autor da pesquisa agradece ao seu orientador, o segundo autor nesta pesquisa. Também agradece às instituições Faculdade de Engenharia Química, da Unicamp, e à Fatec Tatuí, do Centro Paula Souza, pelo apoio e permissões concedidas.

REFERÊNCIAS

- ALLIET-GAUBERT, M. et al. **Cooperative Weblab in chemical engineering between France and Brazil: Validation of the methodology**. Journal of Education for Chemical Engineers v.7. Elsevier. 2012
- ÅSTRÖM, K. J., **Control System Design Book**. University of California. 2002
- BENNET, S. **A Brief History of Automatic Control**. Smithsonian Institute, Washington DC. 1996.
- CAMPOS, M. C. M. M.; TEIXEIRA, H. C. G. **Controles Típicos de Equipamentos e Processos Industriais**. 2a edição. Editora Edgar-Blücher. São Paulo. 2010.
- DUTRA, M. K.; MILHOMEM, R. L.; NEVES, C. F. O C. **Aspectos práticos sobre a modelagem matemática de um sistema de controle de nível**. XLV Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia. Joinville/SC. 2017
- FRANCHI, C. M. **Controle de Processos Industriais, Princípios e Aplicações**. 1a Edição. Editora Érica. São Paulo. 2014.
- FEISEL, L. D.; ROSA, A. J. **The Role of the Laboratory in Undergraduate Engineering Education**. The Research Journal for Engineering Education. v.94, i.1. Colorado. 2005
- GREPINO, P. H.; RODRIGUES, F. A. **Utilização de softwares livres no ensino da engenharia química**. Revista da Engenharia Química e Química - REQ. Vol 1. 2015
- GUZMÁN, J. L. et al. **An interactivity-based methodology to support control education**. IEEE Control Systems Magazine. 1066-033X/16. 2016
- JAHANGIRIAN, M. et al. **Simulation in manufacturing and business: A review**. European Journal of Operational Research (203) 1-13. Elsevier. 2010
- KLATT, K. U.; MARQUARDT, W. **Perspectives for process systems engineering - Personal views from academia and industry**. Journal of Computers and Chemical Engineering 33 536-550. Elsevier. 2009
- KOMULAINEN, T. M. et al. **Experiences on dynamic simulation software in chemical engineering education**. Journal of Education for Chemical Engineers 7 e153-e162. Elsevier. 2012
- MA, J.; NICKERSON, J. V. **Hands-on, simulated, and remote laboratories: a comparative literature review**. ACM Computing Surveys, v.38, n.3. NJ. 2006
- MOLISANI, A. L. **Evolução do perfil didático-pedagógico do professor-engenheiro**. Revista Educação em Pesquisa, v. 43, n. 2. São Paulo. 2017
- NICKERSON, J. V. et al. **A model for evaluating the effectiveness of remote engineering laboratories and simulations in education**. Journal of Computers & Education. v.49 n.3. Elsevier. 2007

OECD. Organization for Economic Co-operation and Development. **Programme for International Students Assessment (PISA) anno 2015**. Results: Excellence and equity in education. 2016.

OGATA, K. **Engenharia de controle moderno**. 5. ed. Editora Pearson Prentice Hall. São Paulo. 2010.

RANADE, S. M.; SALAZAR, H.; RODRIGUEZ, L. A. **Process control: Domains, disciplines and cognitive difficulties**. Journal of Education for Chemical Engineers. Elsevier. 2012.

RASTEIRO, M. G. et al. **LABVIRTUAL - A virtual platform to teach chemical process**. Journal of Education for Chemical Engineers 4 e9-e19. Elsevier. 2009

ZHANG, Y. et al. **A real time approach to process control education with an open-ended simulation tool**. Journal of Education for Chemical Engineers. Elsevier. 2013

ANALYSIS OF PRACTICAL TEACHING METHODS FOR INDUSTRIAL CONTROL AUTOMATION: PHYSICAL EQUIPMENT AND COMPUTER SIMULATIONS

Abstract: *In the context of engineering teaching, particularly regarding control and automation engineering, it is widely known the typical teaching and learning difficulties on the theme 'Control Systems for Continuous Processes' (RANADE; SALAZAR; RODRIGUES, 2012). However, these topics are not an exclusivity in this subject of control engineering, but more and more in other fields of engineering as well, such as chemical, mechanics, computer, construction etc. So, we show in this present work the importance of such subject, automation, the problems that arise from the lack of this knowledge, some cognitive difficulties that typical students show, the impact of teaching laboratories in this context, and some limitations of computer simulations. At the same time, we show the link between those topics and the sustainability, so as the social-environmental problems and solutions that may have origin at the engineering schools. Then we did a documental research from experimental data, of a graduation teacher with his students. The synthesis from this data, and its further analysis, worked as basis for confirmation of objectives, related to the teaching of this wide science of automation.*

Key-words: *Engineering teaching. Industrial control systems. Teaching laboratories. Simulation software. PID controllers tuning.*