APLICAÇÃO DA AULA EXPOSITIVA DIALOGADA PARA O PROJETO DE UM CONTROLADOR FUZZY INCREMENTAL

Celso A. de França[1] – celsofr@ufscar.br
Edilson R. R. Kato[2] – kato@ufscar.br
Osmar Ogashawara[1] – osmaroga@ufscar.br
Universidade Federal de São Carlos - UFSCar
Departamento de Engenharia Elétrica – DEE[1]
Departamento de Computação – DC[2]
Rod. Washington Luis, Km 235
CEP 13565-905 – São Carlos –SP

Resumo: *O ensino tradicional é centrado na fala do professor em aulas expositivas, o que faz com que os discentes sejam atores passivos com pouca interação no processo de aprendizagem. Com o intuito de motivar os discentes, de transformá-los em parte integrante do processo de Ensino Aprendizagem, tem sido proposto vários métodos de aprendizagem denominados de metodologias ativas. São várias metodologias ativas que vem sendo aplicadas e testadas: aula invertida, PBL (do Inglês Problem Based Learning), instrução por pares, aula dialogada, entre outras. Este trabalho utiliza a aula expositiva dialogada para projetar um Controlador Fuzzy Incremental (CFI). Em uma aula expositiva dialogada, os discentes perguntam, questionam e trocam informações para obter o conhecimento. Isso faz com que os discentes sejam atores ativos dentro do processo. O objetivo foi motivar o discente, através do uso de seus conhecimentos e questionamentos, a buscar e trocar informações para alcançar as soluções para a implementação desse controlador. Os resultados obtidos nos estudos foram animadores. Os discentes reforçaram seus conhecimentos técnicos sobre lógica e controladores Fuzzy, aprenderam a projetar um CFI, além de confirmarem e observarem a importância dos ajustes adequados dentro do sistema. O processo todo incentivou os discentes a discutirem e trocarem informações tornando o aprendizado mais agradável e sólido.*

Palavras-chave: *Metodologias Ativas. Aula Expositiva Dialogada. Ensino Aprendizagem*

1 INTRODUÇÃO

Segundo Aguiar Jr (2005), o ensino pode ser realizado de duas maneiras. O ensino pode ser feito como uma “forma de transmissão de saberes” ou como um método de “assinalar caminhos para a aprendizagem”. Na primeira perspectiva, o planejamento do ensino é centrado na fala do professor em aulas expositivas (AGUIAR JR, 2005). Nesse caso os discentes são atores passivos no processo de aprendizagem. Na segunda perspectiva o planejamento do ensino prioriza potencializar as ações dos discentes, tornando-os sujeitos ativos dentro do processo de aprendizagem, nesse caso ao invés de aulas expositivas o docente pode utilizar das metodologias ativas de aprendizagem.

As aulas expositivas podem ser feitas através de quadro negro e giz ou através de recursos tecnológicas (projetor multimídia) onde o docente transmite as informações aos discentes. A atuação dos discentes nessas aulas é obter informações ouvindo e anotando o docente para poder reproduzi-las futuramente, sendo, portanto, considerada uma atividade passiva.

Por outro lado, as metodologias ativas, propõe um maior engajamento do discente tornando-os construtores dos saberes. São várias metodologias ativas que vem sendo aplicadas e testadas: aula invertida, PBL (do Inglês Problem Based Learning), instrução por pares, aula dialogada, entre outras.

Para se envolver ativamente no processo de aprendizagem, o discente deve ler, escrever, perguntar, discutir ou estar ocupado em resolver problemas e desenvolver projetos (MEYERS; JONES, 1993). Capraro (2007) comenta que a Aula Expositiva Dialogada (AED) substitui com vantagens a aula dialogada, vendo com maior vantagem a participação do discente em discussões gerando parcerias e trocas de conhecimentos.

A AED, segundo Coimbra (2017), pode ser decomposta em 5 fases: Inspiração, Problematização, Reflexão, Transpiração e Síntese. A inspiração é a motivação, é a proposição de temas de interesse aos discentes. A problematização é o relacionamento do tema proposto com a realidade, buscando situações concretas. A reflexão é o ponto de início para a resolução do problema, nesta etapa os discentes devem utilizar seus conhecimentos e trocar seus conhecimentos entre seus pares e com o docente. Na transpiração, o professor deve propor um roteiro para que, através dos esforços dos discentes, os objetivos sejam atingidos. A síntese é o momento final, onde o discente pode compartilhar o aprendizado adquirido.

Este trabalho mostra a aplicação da AED utilizando um projeto de um Controlador Fuzzy Incremental (CFI). O objetivo é motivar o discente, através do uso de seus conhecimentos e questionamentos, a buscar e trocar informações para alcançar as soluções para este controlador. O conhecimento a priori para o desenvolvimento do trabalho está relacionado aos sistemas de controle clássico (PID – Proporcional, Integrativo e Derivativo), a teoria de Lógica Fuzzy e aos controladores Fuzzy.

O artigo é dividido em 4 seções. Esta primeira seção relata a contextualização da problemática e apresenta o objetivo do artigo. Na segunda seção é apresentado informações sobre os sistemas de controle. A terceira seção mostra o desenvolvimento da metodologia aplicada e na última seção apresenta as considerações finais.

2 SISTEMAS DE CONTROLE

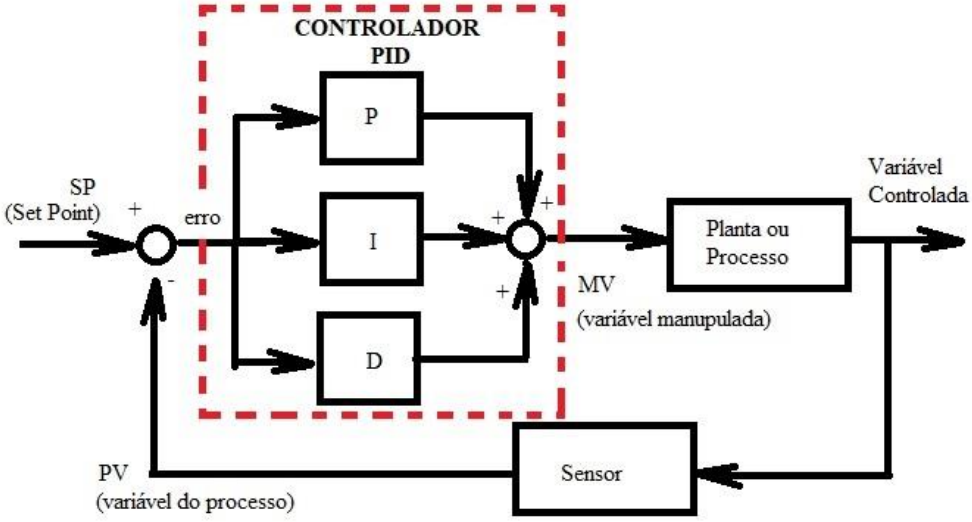
Sistemas de controle são essenciais na sociedade moderna, sendo utilizados em várias aplicações, tais como: as linhas de produção, em montadoras de veículos, em lançamentos de satélites, entre outras aplicações. As razões pelas quais os sistemas de controle são construídos, segundo Nise (2002), são: Amplificação de potência, Controle remoto, Facilidade do uso da forma de entrada e Compensação de perturbações.

Os sistemas de controle podem ser projetados através das teorias e técnicas de controle clássico, controle moderno, controle digital e controle inteligente. O controle clássico modela o sistema através das funções de transferências, o controle moderno utiliza as equações diferenciais na modelagem, o controle digital implementa os controladores através de microprocessadores e o controle inteligente aplica técnicas de inteligência artificial para executar uma ação de controle.

Segundo Campos e Saito (2004), a inteligência artificial (IA) consiste em implementar em um computador, as tarefas que os seres humanos consideram inteligentes. Tarefas essas que estariam ligadas ao raciocínio, à decisão e à aprendizagem. O raciocínio é a arte de inferir a partir de objetivos, fatos e conhecimentos para realizar uma determinada ação. A decisão é escolher uma determinada ação em detrimento de outras. Por fim a aprendizagem é valorizar ou não as decisões a partir dos resultados obtidos.

Os controladores PID são amplamente utilizados no parque industrial devido a sua estrutura simples, de serem fáceis de projetar e de baixo custo de implementação (FENG, 2006). As desvantagens dos controladores PID aparecem quando o sistema a ser controlado apresenta não linearidades, fazendo com que o controlador não trabalhe satisfatoriamente. A Figura 1 mostra um sistema de controle em malha fechada utilizando um controlador PID. A entrada do controlador PID é o erro entre o valor de referência (SP, do inglês Set Point) e o valor da variável do processo (PV, do inglês Process Variable), através deste erro o controlador PID atua sobre a planta com o objetivo de diminuir ou anular esse erro.

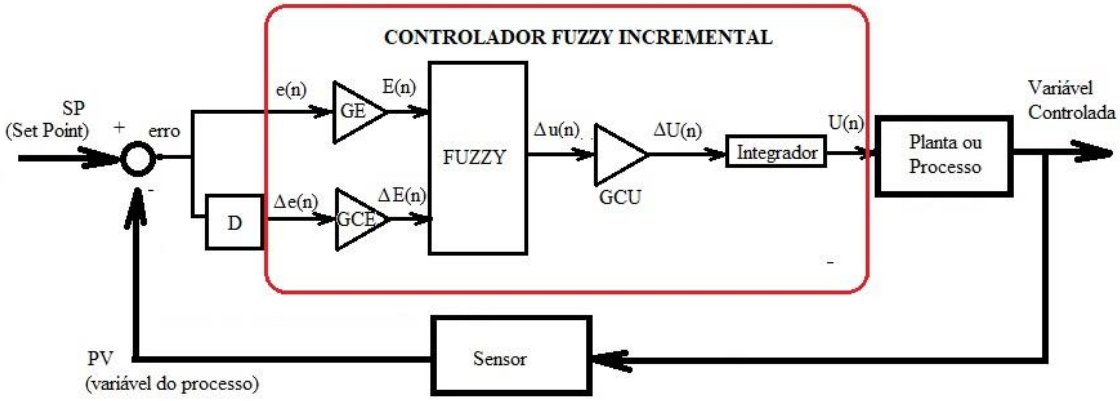
Figura 1 – Diagrama em blocos de um sistema de controle PID



O Controlador Fuzzy tem sido usado por sua habilidade de manipular não linearidades e incertezas através da Teoria dos Conjuntos Fuzzy (FENG, 2006). No entanto, o controlador Fuzzy possui muitos parâmetros para ser ajustados (sintonizados) tais como: número de funções de pertinências utilizadas para cada variável, formato das funções, domínio das variáveis, regras e normalizações entre outras. É comum existir dificuldades para os discentes na elaboração de um projeto de controlador Fuzzy por causa das escolhas erradas dos parâmetros.

Jantzen (2007) apresenta as seguintes estruturas de controladores Fuzzy: controlador Fuzzy-P (de Proporcional), controlador Fuzzy-PD (de Proporcional Derivativo), controlador Fuzzy PD+I (de Proporcional Derivativo mais Integrativo) e controlador Fuzzy Incremental. O controlador Fuzzy PD+I corresponde ao controlador PID convencional e o Controlador Fuzzy Incremental (CFI) é análogo ao controle PI (Proporcional Integrativo) convencional. Neste trabalho será usado o CFI, cujo diagrama em blocos é mostrado na Figura 2. Na Figura 2 nota-se que o controlador Fuzzy possui duas entradas, Erro (e(n)) e Variação do Erro (Δe(n)) e uma saída, Variação de controle (U(n)). Além disso, o CFI, possui três ganhos (GE, GCE e GCU) que devem ser ajustados.

Figura 2 – Diagrama de um sistema com o Controlador Fuzzy Incremental.



3 METODOLOGIA

Este trabalho foi aplicado na disciplina de Controle Inteligente do curso de Engenharia Elétrica, ministrada na Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Os requisitos para acompanhar a disciplina, são os conhecimentos da teoria de Sistemas de Controle e de Lógica de Programação. A ementa da disciplina contempla teoria básica de Sistemas Especialistas, Lógica Fuzzy, Redes Neurais e Algoritmos Genéticos.

A AED foi realizada em grupo utilizando um problema de projeto de um Sistema de Controle Fuzzy e foi aplicada após as aulas da teoria de Lógica Fuzzy. Sá et al. (2017) notaram que os professores que recorrem mais às AED e atividades em grupo obtém os discentes mais atentos e participativos.

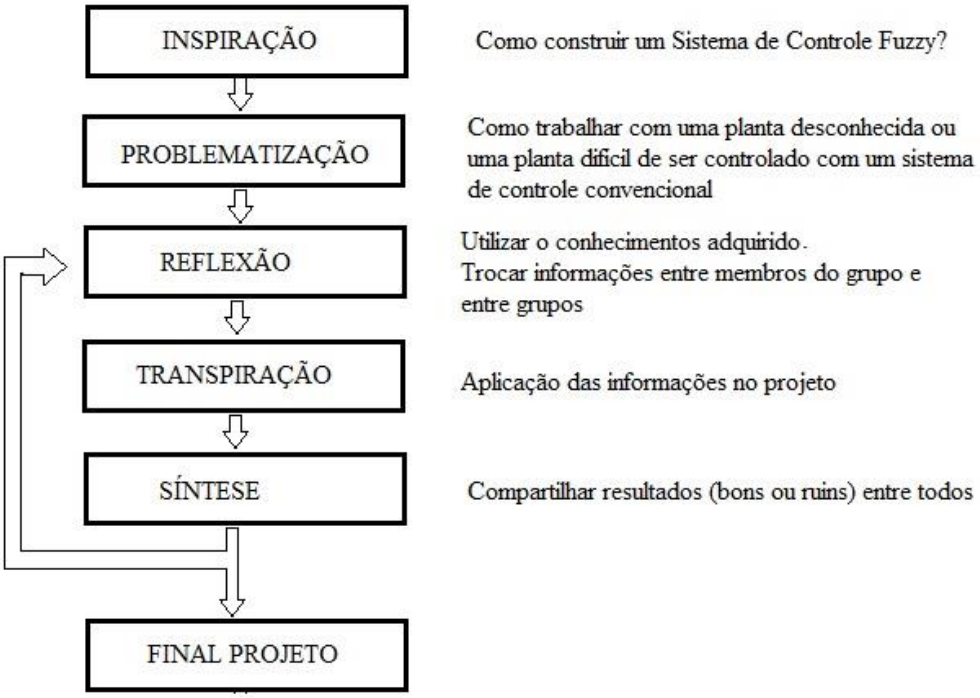
Um sistema de controle Fuzzy possui vários parâmetros a serem ajustados. Gomide & Gudwin (1994) dividem esses parâmetros em duas categorias: Fixos e variáveis. Como parâmetros fixos (ou estruturais), os autores listam: número de variáveis de saída, número de variáveis de entrada, recursos de operação sobre os dados de entrada (somas, multiplicações, etc.), variáveis linguísticas, funções de pertinência parametrizadas, intervalos de discretização e normalização, estrutura da base de regras e conjunto básico de regras. Como parâmetros variáveis (ou de sintonização), os mesmos autores enumeram: universo de discurso das variáveis, parâmetros das funções de pertinência (tais como altura, largura ou conjunto suporte) e ganhos e *offset* das entradas e saídas.

Portanto, são muitos parâmetros para ajustes e qualquer alteração em um deles, leva o sistema a responder de uma certa forma, melhorando ou piorando o desempenho. A Figura 3 apresenta o diagrama de blocos da metodologia aplicada. Este diagrama é uma alteração das fases proposta por Coimbra (2017) sobre a AED, no caso a fase de síntese será usada para reportar os resultados, bons ou ruins, e será a realimentação para a fase de reflexão. A motivação da fase de Inspiração foi propor aos discentes projetar e simular um sistema de controle Fuzzy incremental de uma planta desconhecida e descobrir quais os passos (ou a metodologia) para desenvolver um CFI partindo do zero.

Na fase de Problematização, Campos & Saito (2004) citam vários casos industriais e científicos no qual o controle Fuzzy é vantajoso. Entre esses casos, os autores citam: controle de centrais termonucleares, funcionamento automático de trens, controle de processos petroquímicos, sistemas inteligentes para eletrodomésticos e sistemas de controle na indústria aeroespacial. Neste ponto foi discutido com os discentes por que utilizar o controle Fuzzy e não o controle clássico, assim os discentes tiveram que utilizar o conhecimento dado nas aulas

teóricas e sua intuição para dialogarem entre si as possíveis causas. Foi citado entre outras causas: a não necessidade de modelar o sistema; a possibilidade de alguns dos sistemas serem não-lineares; a possibilidade de se utilizar os conhecimentos dos operadores humanos e a possibilidade de alguns sistemas terem várias entradas e/ou saídas. O papel do professor nessa fase é de orientar o diálogo fazendo perguntas para dirigir o raciocínio dos discentes.

Figura 3 – Diagrama de blocos da metodologia aplicada.



Na fase de Reflexão os discentes devem dialogar entre si, com os membros do grupo utilizando os conhecimentos sobre a teoria de controle e sobre controladores Fuzzy para projetar o sistema. No caso, o CFI da Figura 2 foi o utilizado e, portanto, os discentes deveriam conhecer a estrutura desse controlador. Nessa fase foram levantados os itens que deveriam ser projetados ou ajustados, no caso, os ganhos do sistema e a Lógica Fuzzy (regras, funções de pertinências, entre outros).

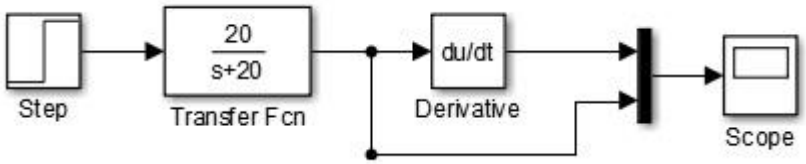
Na fase de Transpiração, o professor propõe uma metodologia para a realização do projeto. No trabalho presente, o controlador Fuzzy tem duas entradas (Erro e Variação do Erro) e uma saída (sinal de controle). Foi definido utilizar cinco conjuntos Fuzzy para cada entrada e também para a saída, sendo: NG (negativo grande), NP (negativo pequeno), ZZ (zero), PP (positivo pequeno) e PG (positivo grande). Com essa definição, forem necessárias 25 regras para o controlador Fuzzy. Essas regras, mostradas na Tabela 1, já são bem definidas e podem ser encontradas em qualquer livro ou artigo sobre controladores Fuzzy.

Tabela 1 – Regras do controlador Fuzzy com duas entradas

		Variação do Erro				
		NG	NP	ZZ	PP	PG
Erro	NG	NG	NG	NG	NP	ZZ
	NP	NG	NP	NP	ZZ	PP
	ZZ	NP	NP	ZZ	PP	PP
	PP	NP	ZZ	PP	PP	PG
	PG	ZZ	PP	PG	PG	PG

A Figura 4 ilustra o diagrama utilizado para levantar os parâmetros da planta. Esta planta, a princípio poderia ser desconhecida, pois foi estudado o seu comportamento quando a mesma foi submetida a um degrau unitário, verificando a saída da planta bem como a sua derivada.

Figura 4 – Diagrama para levantamento dos parâmetros da planta.



O resultado da simulação é mostrado na Figura 5, onde pode ser notado que a derivada varia de 0 até o valor de 20. Como a planta está em malha aberta, verifica-se que este atinge o seu máximo depois de 0,25 segundos. Com isso, os discentes são instigados a pensar qual o valor do universo do Erro, da Variação do Erro e do sinal de controle que foram utilizados no controlador Fuzzy. A maioria dos grupos chegou à conclusão de usar, no controlador Fuzzy, o valor de [-1, 1] para o universo da variável Erro, já que esta é a diferença inicial do valor de referência e a saída. Para o universo da variável Variação do Erro foi usado o valor de [-20, 20] baseado na simulação da Figura 4. Por fim o universo do Sinal de Controle foi usado o valor de [-1, 1], que seria o valor máximo que a planta pode atingir. Os conjuntos Fuzzy utilizados para as três variáveis são mostrado na Figura 6(a), diferindo apenas o universo de discurso. Na Figura 6(b) pode ser observada a superfície não linear obtida no controlador Fuzzy.

Figura 5 – Resultado do levantamento dos parâmetros da planta
Derivada x tempo

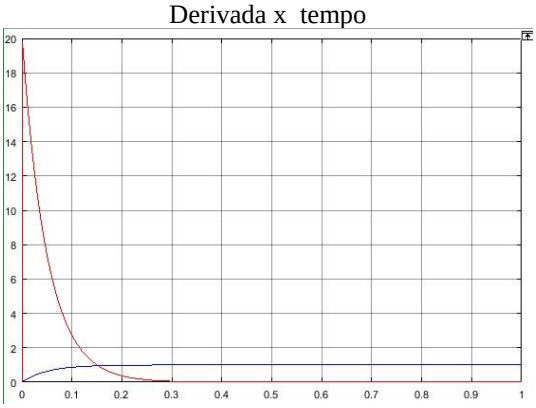
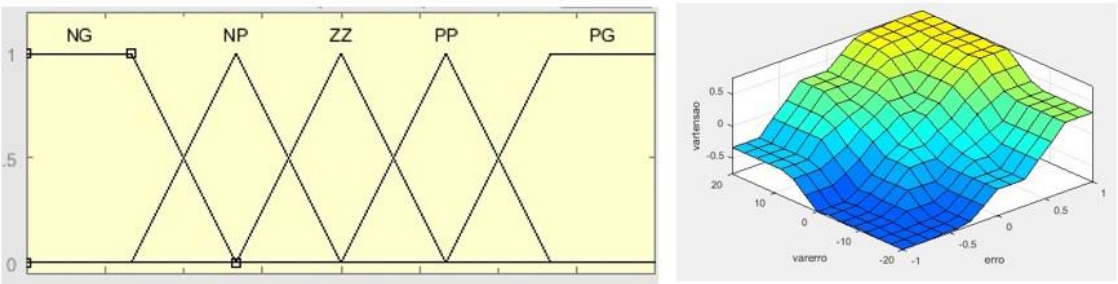


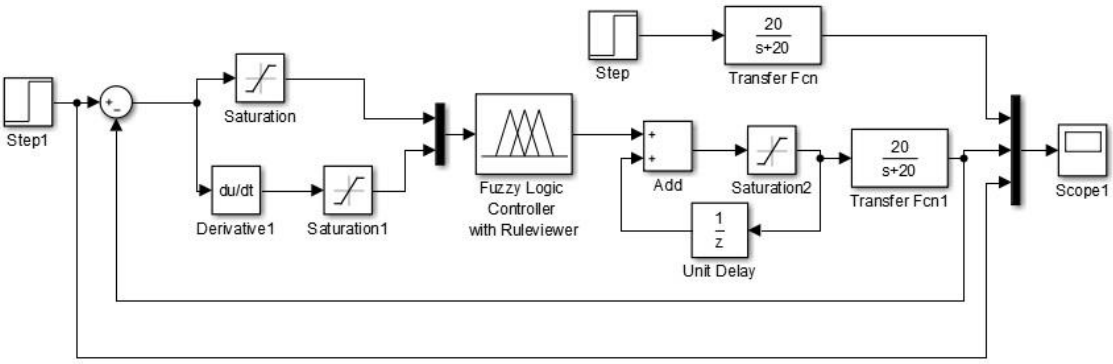
Figura 6 – a) Conjuntos Fuzzy das variáveis. b) superfície obtida



a) b)

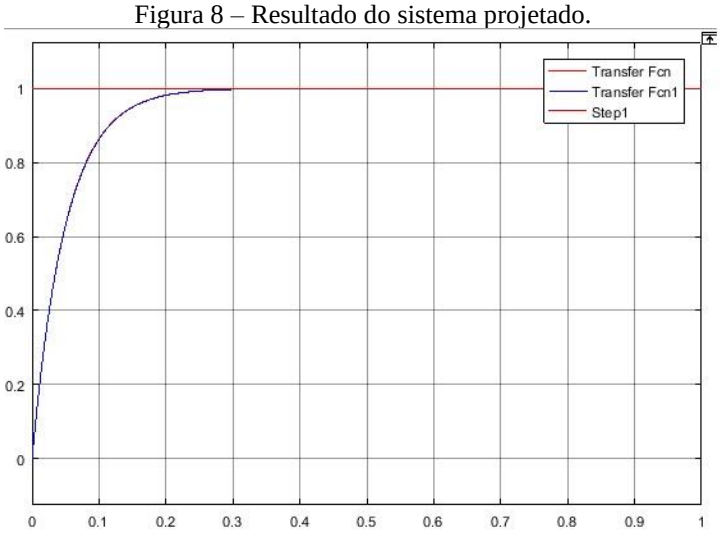
Os grupos construíram o controlador Fuzzy mostrado na Figura 7, onde a Saturação do Erro (Saturation) tem o mesmo universo de discurso do Erro, a Saturação da Derivada do Erro (Saturation 1) tem o universo da Variação do Erro e a Saturação do Controlador (Saturation 2) tem o universo da saída do controlador, isto é feito para evitar que um valor desconhecido seja inserido na lógica Fuzzy.

Figura 7 – Controlador Fuzzy incremental.



O resultado obtido na simulação é apresentado na Figura 8. Nesta parte entra a fase de síntese, onde os discentes verificam os resultados e trocam informações com outros grupos. Alguns grupos não haviam conseguido o resultado final e foi através dessa troca de informação que eles conseguiram fazer as correções necessárias. A maioria dos problemas que ocorreram foram: erro na construção das regras Fuzzy, valores errados no universo de discurso e valores errados nos ganhos. Nessa fase foi aberta discussão sobre os resultados obtidos onde os próprios discentes questionaram o uso do controlador Fuzzy uma vez que o desempenho do mesmo era idêntico ao desempenho da planta em malha aberta. Aqui é importante o professor salientar a importância de ter um projeto inicial do controlador e que ajustes podem ser feitos para obter uma melhor solução. Com isso foi solicitado aos discentes pensarem em soluções voltando à fase de Reflexão mostrada na Figura 3.

Figura 8 – Resultado do sistema projetado.

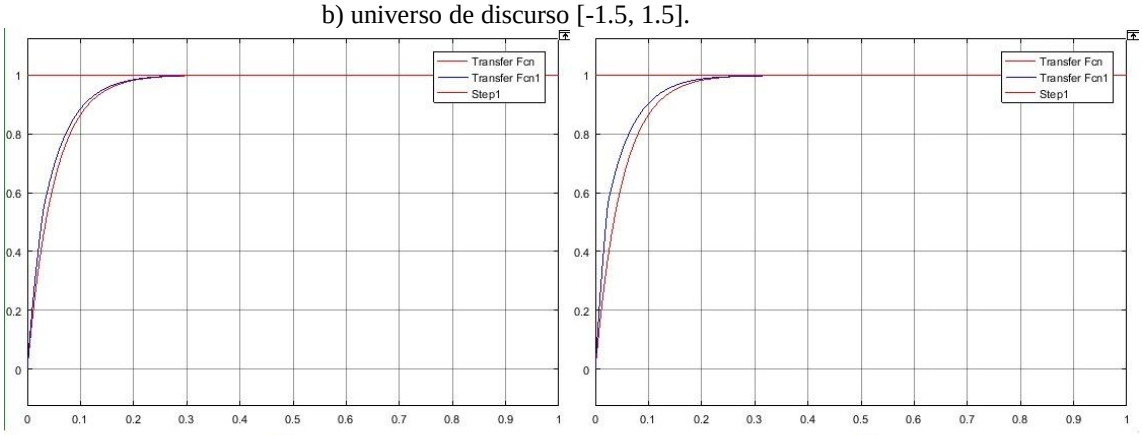


Na segunda volta à fase de Reflexão, os discentes foram questionados quanto à saída dos controladores clássicos, isto é, qual o valor que o controlador entregava para a planta. Com isso muitos grupos chegaram à conclusão que o valor de saída do controlador poderia ser

maior que o valor de referência, e que isso até era a causa do sobressinal nos controladores clássicos.

Com isso, na fase de Transpiração, os grupos tiveram liberdade para alterar e estudar o universo de discurso da variável de saída. A Figura 9 mostra a simulação desses estudos em (a) o universo de discurso da variável de saída foi [-1.2, 1.2] e em (b) o universo de discurso utilizado foi de [-1.5, 1.5]. Pode-se notar, pela Figura 9, que houve uma melhora no desempenho do sistema se comparado à saída apresentada na Figura 8.

Figura 9 - Estudo da variável sinal de controle. a) universo de discurso [-1.2, 1.2]. b) universo de discurso [-1.5, 1.5].



Com os estudos realizados na fase de Transpiração, os discentes passaram para a fase de Síntese trocando informações entre os grupos. Alguns grupos aumentaram muito o universo de discurso da variável de saída obtendo uma pequena melhoria, mas deixando o sistema muito ruidoso. Outros grupos alteraram só o universo de discurso da variável de saída e esqueceram de alterar o ganho (Saturation2 da Figura 7) no diagrama do sistema. Novamente aqui o trabalho entre os grupos deve ser louvado.

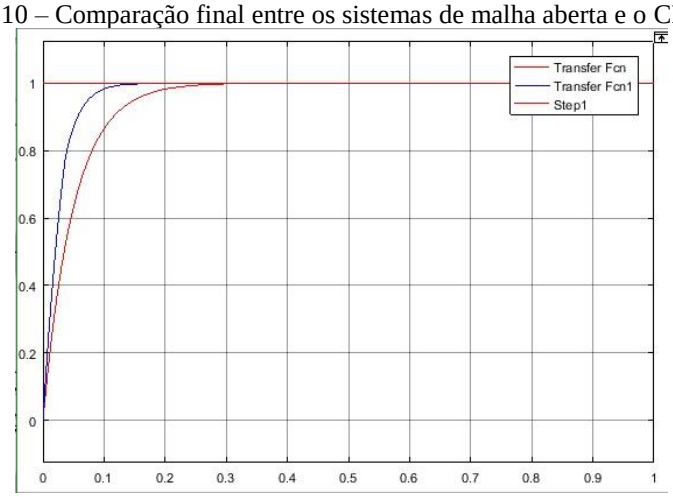
Na fase de Síntese, os discentes se mostraram motivados a alterar outros parâmetros citando: alterar o número de regras, o universo de discurso das variáveis de entrada, alterar o formato dos conjuntos Fuzzy, mudar o modo de defuzzificação, entre outras sugestões. Como são vários parâmetros, foi solicitado aos discentes fazer um estudo sobre a variável de entrada Erro.

Voltando novamente à fase de Reflexão foi perguntado aos discentes se o valor de saída do controlador deveria ser grande, médio ou pequeno caso o erro fosse igual a 1. Lembrando que foi usado o degrau unitário, o valor 1 será o maior valor do erro. Foi pedido aos discentes a pensar também qual deveria ser o valor da saída do controlador se o valor do erro fosse 0.9, ou 0.8, ou 0.5. A conclusão obtida pelos discentes foi que a saída do controlador deveria ser mantida no máximo enquanto o valor do erro fosse grande.

Na fase de Transpiração, os discentes alteraram o universo de discurso da variável de saída, não esquecendo de alterar o ganho do Erro (Saturation da Figura 7). A Figura 10 mostra a simulação do sistema com o universo da variável Erro de [-0.5, 0.5].

Na fase de Síntese, os discentes perceberam e aprenderam a projetar o controlador iniciando com um estudo do desempenho em malha aberta. Notou-se que o desempenho do sistema melhorou com o controlador Fuzzy, que pode ser visto na Figura 10 onde a curva azul representa o controlador Fuzzy e a curva vermelha o sistema em malha aberta.

Figura 10 – Comparação final entre os sistemas de malha aberta e o CFI.



4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização da AED ao problema da construção de um CFI permitiu aos discentes obterem, de uma forma clara e consistente, uma metodologia para o projeto desse controlador.

A aula foi realizada em 4 horas, portanto, muitas outras opções de ajustes do sistema não foram exploradas, o que não impede que os discentes as realizem fora da sala de aula.

Como resultado da AED que utiliza a interação entres os discentes e a interação com o professor levou a vários questionamentos e trocas de informações. Isso foi benéfico, pois se o problema fosse só apresentado numa aula de forma expositiva sem haver essa troca de informações muito do aprendizado seria negligenciado. Os discentes aprenderam com os seus erros e acertos, bem como com os erros e acertos dos outros grupos.

Um ponto interessante foi reparar que os discentes gostam de passar o conhecimento que adquirem aos outros, isso leva a outra questão importante: segundo a famosa pirâmide de aprendizado de William Glasser (1986) as pessoas aprendem apenas 20% quando ouvem, quando discutem um tema essa porcentagem sobre para 70% chegando a 95% quando ensinam outras pessoas. Com isso, foi notado que a motivação dos discentes foi bastante alta, deixando-os mais livres para explorarem e utilizarem o conhecimento no projeto do controlador.

Os resultados obtidos nos estudos foram animadores, pois os discentes reforçaram seus conhecimentos técnicos sobre a lógica e os controladores Fuzzy, aprenderam a projetar um CFI, além de confirmarem e observarem a importância dos ajustes adequados dentro de um sistema. A proposta da solução e a observação de sua aplicação incentivaram os discentes, tornando o aprendizado mais agradável e sólido.

REFERÊNCIAS

AGUIAR Jr, Orlando Gomes. **Planejamento do Ensino. Projeto Escola Referência**, SEE/MG, 2005.

CAMPOS, Mário Massa; SAITO, Kaku. **Sistemas Inteligentes em Controle e Automação de Processos.** Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna, 2004.

CAPRARO, L. Técnicas de Ensino a Serviço do Professor Engenheiro. In: XXXV Congresso Brasileiro de Ensino em Educação (COBENGE). **Anais**. Curitiba, 2007.

COIMBRA, Camila Lima. A Aula Expositiva Dialogada em uma Perspectiva Freireana. In: LEAL, Edvalda Araújo.; MIRANDA, Gilberto José.; CASA NOVA, Sílvia Pereira (Orgs). **Revolucionando a Sala de Aula.** 1ª ed. São Paulo. Editora Atlas, 2017. Cap.1, p. 1-14.

FENG, G. A Survey on Analysis and Design of Model-Based Fuzzy Control Systems. **IEEE Transactions on Fuzzy Systems**, vol. 14, nº 5, p. 676-697, outubro, 2006.

GOMIDE, F. A. C.; GUDWIN, R. R. Modelagem, Controle, Sistemas e Lógica Fuzzy. **SBA Controle & Automação**, v.4, nº 3, p. 97-115, setembro-outubro, 1994

JANTZEN, Jan. **Foundations of Fuzzy Control**. England: John Wiley & Sons Ltd, 2007.

MEYERS, Chet; JONES, Thomas B. **Promoting active learning**. São Francisco: Jossey Bass, 1993.

NISE, Norman S. **Engenharia de Sistemas de Controle.** LTC editora, Rio de Janeiro, 2002.

SÁ, E.; QUADROS, A. L.; MORTIMER, E. F., SILVA, P. S.; TALIM, S. L. As Aulas de Graduação em uma Universidade Pública Federal: Planejamento, Estratégias Didáticas e Engajamento dos Estudantes. **Revista Brasileira de Educação** v. 22, n. 70, pp.625-650, jul-set. 2017

GLASSER, William. **Control theory in the classroom**. New York: Perennial Library, 1986

APPLICATION OF THE DIALOGUED EXPOSITORY CLASSROOM FOR THE PROJECT OF A FUZZY INCREMENTAL CONTROLLER

Abstract: Traditional teaching focuses on the teacher's speech in lectures, which students are passive actors with little interaction in the learning process. In order to motivate students, transforming them into an integral part of the learning process has been proposed several learning methods called active methodology. There are several active methodologies that have been applied and tested, like: inverted class, PBL (Problem Based Learning), peer instruction, dialog class, among others. This work applies the dialogic lecture to design a Fuzzy Incremental Controller (FIC). In a dialoged expository classroom (DEC), students ask, question, and exchange information to acquire knowledge. This becomes students active actors in the learning process. The aim was to motivate the student, through the use of their knowledge and questions, to seek and exchange information to reach the solutions for this controller. The results obtained in the studies were encouraging. The students reinforced their technical knowledge of Fuzzy logic and Fuzzy controllers, learned to design a FIC, and confirmed and observed the importance of appropriate adjustments within the system. The entire process encouraged students to discuss and exchange information making learning more enjoyable and solid.

Key-words*: Active Methodologies. Classroom Dialogue. Teaching-Learning*