

APLICANDO PBL PARA MELHORAR O DESEMPENHO DE UM CONTROLADOR FUZZY PD+I

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: *As aulas expositivas focada no professor torna o aprendizado uma atividade mecânica, com pouca interação no processo de aprendizagem. Com o intuito de motivar os discentes e transformá-los em parte integrante do processo vários métodos de aprendizagem ativos têm sido apresentadas: PBL (aprendizagem baseada em problemas), Instrução por Pares, Role-Play, Storytelling entre outras. Neste artigo foi utilizada a metodologia PBL para resolver o problema de projetar um controlador Fuzzy PD+I para melhorar o desempenho de um controlador PID tradicional. Essa metodologia incentiva o desenvolvimento de várias habilidades, tais como: comunicação, trabalho em grupo, criatividade, análise, desenvolvimento de projetos e capacidade de solução. Os discentes questionam e trocam informações para obter o conhecimento. O objetivo do trabalho foi solidificar os conhecimentos técnicos aprendidos em aulas teóricas, bem como as habilidades de trabalhar em grupo, de analisar e propor soluções. Os resultados alcançados foram positivos, com os discentes reforçando seus conhecimentos teóricos na solução de projetar um controlador Fuzzy PD+I que tivesse um desempenho melhor do que o controlador PID tradicional. Foi positivo, também, as habilidades apresentadas pelos discentes na busca da solução do problema, tais como: pesquisas na internet, comunicação dentro dos grupos e entre os grupos, respeito aos companheiros, análise, desenvolvimento de projeto e capacidade de solução.*

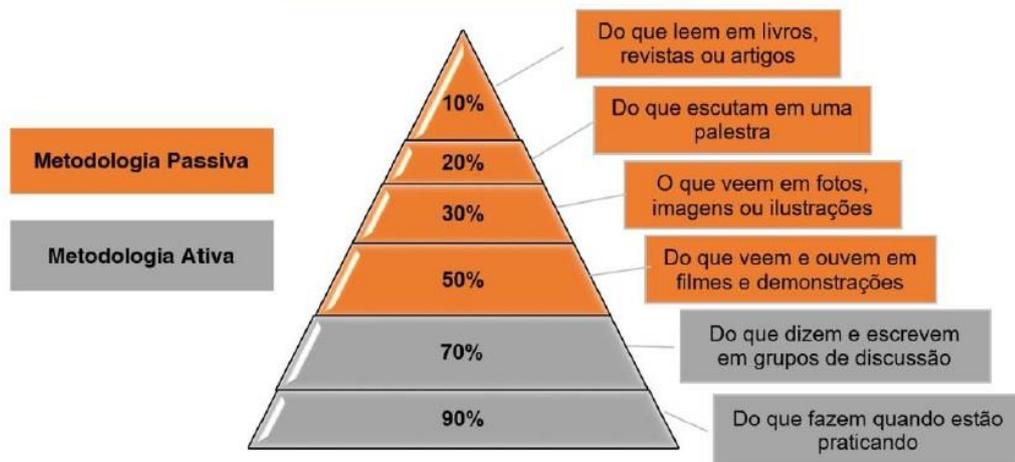
Palavras-chave: *Metodologias Ativas. PBL. Ensino Aprendizagem*

1. INTRODUÇÃO

Apesar do mundo digital, amplamente conectado, que a inovação da tecnologia oferece nos dias de hoje, a aprendizagem ainda se caracteriza pelos ambientes tradicionais de ensino. No método tradicional, o aluno realiza tão somente uma atividade de memorização mecânica que em nada colabora com o despertar do senso crítico, criatividade, inovação e aprendizagem significativa do aluno (MUNHOZ, 2016).

Nos livros de educação e treinamento, nas conferências e artigos de periódicos, são amplamente citados que os discentes lembram 10% do que ouvem, 20% do que leem, sendo que esses percentuais aumentam em múltiplos de 10 caso os discentes estejam envolvidos com a aprendizagem ativa (MASTERS, 2013). Essas porcentagens são frutos de pesquisas que levaram à construção da Pirâmide de Aprendizagem da Figura 1, tendo sido esta construção atribuída concomitantemente ao National Training Laboratories (NTL) e a Edgar Dale (LEITE, 2018). Pela Figura 1, nota-se que quanto mais o aluno se envolve ativamente no processo mais eles adquirem conhecimentos, alcançando índices de 70% a 90% de aprendizagem. Sendo que na metodologia passiva, ou tradicional, os discentes conseguem aprender no máximo 50% do conteúdo apresentado.

Figura 1 – Pirâmide de aprendizagem.



Fonte: Leite (2018).

Para Leite (2018), na aprendizagem ativa o aluno assume uma postura mais efetiva, na qual ele resolve problemas, desenvolve projetos e, com isto, cria oportunidades para a construção de conhecimento, contrário à aprendizagem passiva que é baseada apenas na transmissão de informação. Dewey (1950) dá relevância para o aluno ativo na construção de seu conhecimento e na necessidade de romper com a tradicional aula expositiva, na qual os discentes apenas reproduziam e memorizavam o conteúdo de ensino.

A aprendizagem ativa ocorre, segundo Barbosa e Moura (2013), quando há interação entre o aluno e o assunto em estudo (ouvindo, falando, perguntando, discutindo, fazendo e ensinando) sendo estimulado a construir o conhecimento ao invés de recebê-lo de forma passiva do professor. Para esses autores, os professores, dentro da aprendizagem ativa, atuam como orientador, supervisor, facilitador do processo de aprendizagem, e não apenas como fonte única de informação e conhecimento.

Pinto et al. (2012) argumenta que as aulas expositivas ou tradicionais não são adequadas para desenvolver os seguintes atributos que integram o perfil profissional do engenheiro: valores éticos, capacidade de comunicação, trabalho em equipe, solução de conflitos, liderança, percepção dos impactos sociais, culturais e ambientais do trabalho profissional.

A Figura 2 apresenta um mapa conceitual de Pimentel (2010) sobre metodologia ativa. O lado esquerdo da Figura 2 apresenta o conceito da metodologia ativa, sendo que ela se inicia no mundo real onde são observados os problemas. Para solução desses problemas, os seus pontos essenciais devem se basear na teoria disponível com intuito de gerar hipóteses para serem aplicadas no mundo real. O lado direito da Figura 2 mostra algumas técnicas de

metodologias ativas existentes, tais como: o PBL, a Aula Dialogada, a Aprendizagem Baseada em Projetos (PjBL), as Atividades à Distância (EAD), entre outras.

Figura 2 – Mapa conceitual da Metodologia Ativa.



Fonte: adaptado de Pimentel (2010).

Soares et al (2017) comenta que Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL, do inglês Problem Based Learning) surgiu em meados dos anos 60, por um grupo de professores liderados por John Evans, por causa de um descontentamento com a formação geral dos cursos de medicina. Esta nova metodologia foi desenvolvida na McMaster University, no Canadá, onde John Evans era professor.

O objetivo principal da Aprendizagem Baseada em Problemas é o aprendizado, onde os discentes passam a maior parte do tempo aprendendo - identificando o que precisam saber, descobrindo, ensinando uns aos outros para depois aplicar o novo conhecimento (HADGRAFT & PRPIC, 1999).

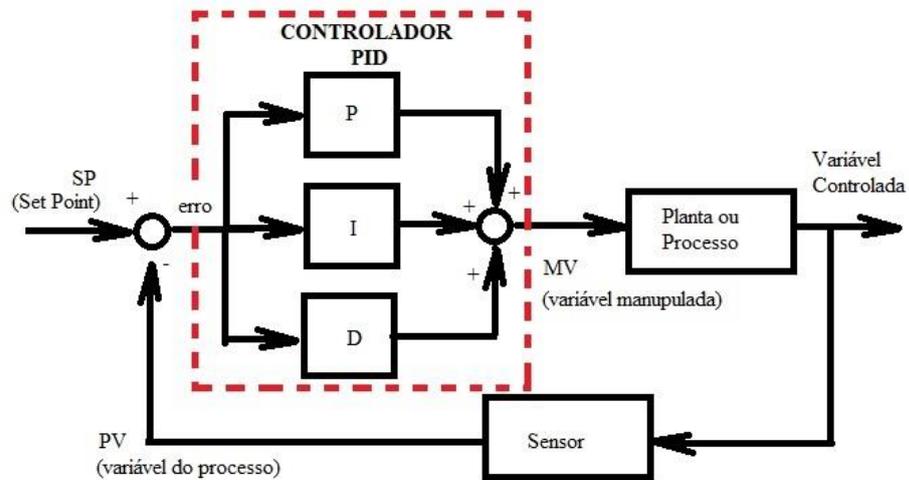
Este trabalho tem como objetivo aplicar a metodologia ativa PBL para desenvolver habilidades de comunicação, planejamento, integração entre grupos, análise crítica e capacidade de solução de problemas. Para isso o problema utilizado foi o de melhorar o desempenho de um controlador Fuzzy PD+I projetado a partir de em um controlador PID tradicional. Os controladores PID tradicionais são amplamente utilizados no chão de fábricas, mas nem sempre o seu desempenho é satisfatório o que gera perda de tempo e aumento de custos. Controladores que atuam de forma inteligente surgiram justamente para melhorar esse desempenho ou atuar em sistemas onde os controladores PID tradicionais não são adequados, por exemplo, em sistemas não lineares.

O trabalho está estruturado em quatro seções. 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

Os controladores PID tradicionais são amplamente empregados nos parques industriais por garantirem, na maioria dos casos, um bom desempenho e por terem suas bases teóricas solidificadas. O controlador PID trabalha em uma malha fechada e usa o erro do sistema para atuar na planta, ou processo, sendo que seu objetivo é melhorar e estabilizar seu desempenho. A Figura 3 mostra o diagrama em blocos de um sistema em malha fechada controlado por um controlador PID.

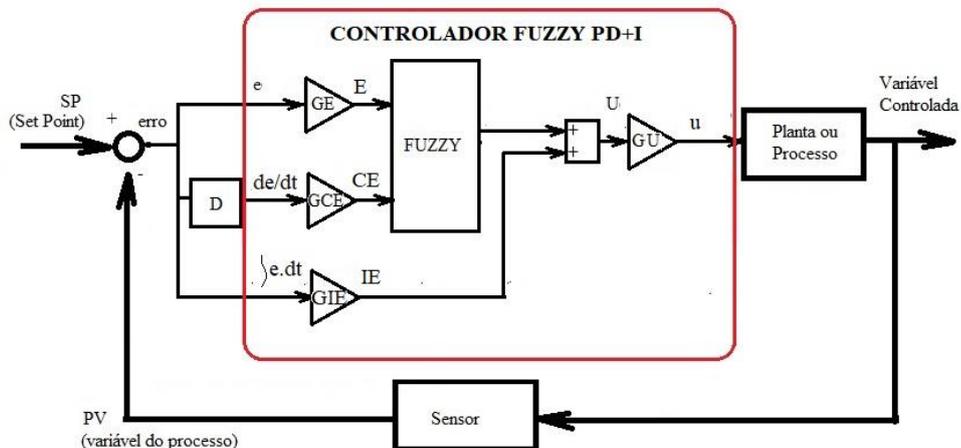
Figura 3 – Diagrama em blocos de um sistema de controle PID



Nem sempre o controlador PID tradicional fornece um desempenho satisfatório, especialmente quando a planta a ser controlada não for linear. Para Feng (2006), uma forma de manipular sistemas não lineares e incertos é o uso do controlador Fuzzy. O controlador Fuzzy utiliza a lógica Fuzzy desenvolvida por Zadeh (1965). Este controlador possui muitos parâmetros que devem ser definidos e ajustados: número de variáveis, formato dos conjuntos Fuzzy, regras, ganhos do sistema, universo de discurso entre outras. Portanto é comum haver dificuldades em um projeto de um controlador Fuzzy.

Em Jantzen (2007) pode-se verificar as seguintes estruturas de controladores Fuzzy: controlador Fuzzy-P, controlador Fuzzy-PD, controlador Fuzzy PD+I e controlador Fuzzy Incremental. O controlador Fuzzy PD+I corresponde ao controlador PID convencional e o controlador Fuzzy Incremental é análogo ao controle PI convencional. Neste trabalho será usado o controlador Fuzzy PD+I, cujo diagrama em blocos é mostrado na Figura 4. Pela Figura 4 nota-se que o controlador Fuzzy possui três entradas, sendo o erro (e) e variação do erro (de/dt) aplicados no bloco da lógica Fuzzy (FUZZY) e a integral do erro ($\int e dt$). A única saída é o sinal de controle (u). Além disso, o controlador Fuzzy PD+I, possui quatro ganhos (GE, GCE, GIE e GU) que devem ser ajustados.

Figura 4 – Diagrama de um sistema com o Controlador Fuzzy PD+I.



3. METODOLOGIA

Este trabalho foi aplicado na disciplina de Controle Inteligente ministrada na Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) no curso de Engenharia Elétrica. A disciplina tem como requisitos: conhecimentos da teoria de Sistemas de Controle e de Lógica de Programação. As técnicas de inteligência artificial apresentadas na disciplina são: Sistemas Especialistas, Lógica Fuzzy, Redes Neurais e Algoritmo Genético.

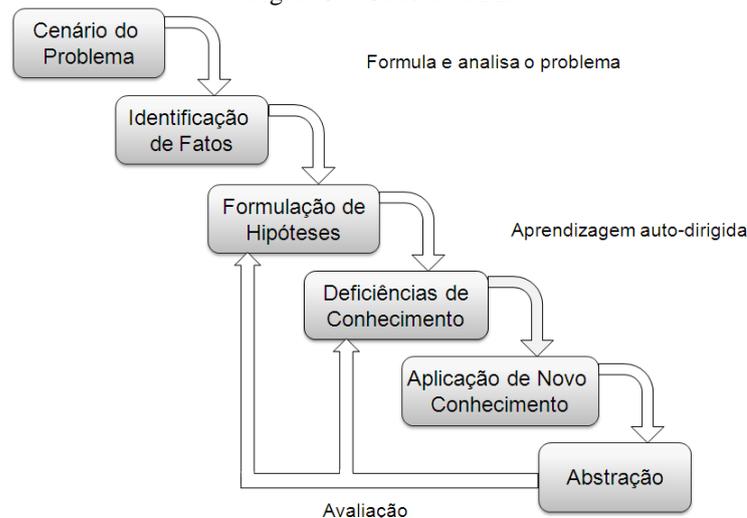
A PBL aplicada foi realizada em grupos, utilizando o problema para melhorar o desempenho de um controlador PD+I projetado a partir de um controlador PID tradicional. O objetivo, além do aprendizado do projeto de controlador Fuzzy PD+I, foi o desenvolvimento das habilidades de comunicação, planejamento, integração entre grupos, análise crítica e capacidade de solução de problemas.

Gomide & Gudwin (1994) dividem os parâmetros de um controlador Fuzzy em duas categorias: Fixos e variáveis. Os parâmetros fixos referem à estrutura do sistema Fuzzy (números de variáveis de entrada e/ou saída, variáveis linguísticas, base de regras, entre outras). Já os parâmetros variáveis se referem aos ajustes do sistema (universo de discurso, parâmetros das funções de pertinências, ganhos e offset do sistema).

São vários parâmetros possíveis de ajuste. O trabalho desenvolvido parte do desenvolvimento do controlador Fuzzy, definindo seus parâmetros fixos e variáveis para obter uma saída condizente ao controlador PID tradicional, e após isso realizar ajustes nos parâmetros variáveis para melhorar o desempenho do sistema.

O ciclo da metodologia PBL (FONTES et.al, 2011) aplicada é mostrada na Figura 5. A primeira etapa do ciclo é a identificação do cenário onde a motivação foi de melhorar o desempenho de um sistema térmico, no qual os discentes já tinham trabalhado na disciplina de Sistemas de Controle I. Os discentes já tinham estudado a planta, levantando seus parâmetros bem como projetado um controlador PID tradicional e feito sua sintonia pelo método de Ziegler-Nichols. O desenvolvimento desse controlador é baseado no livro de Jantzen (2007) com algumas adaptações.

Figura 5 – Ciclo da PBL.



Fonte: Fontes et al. (2011).

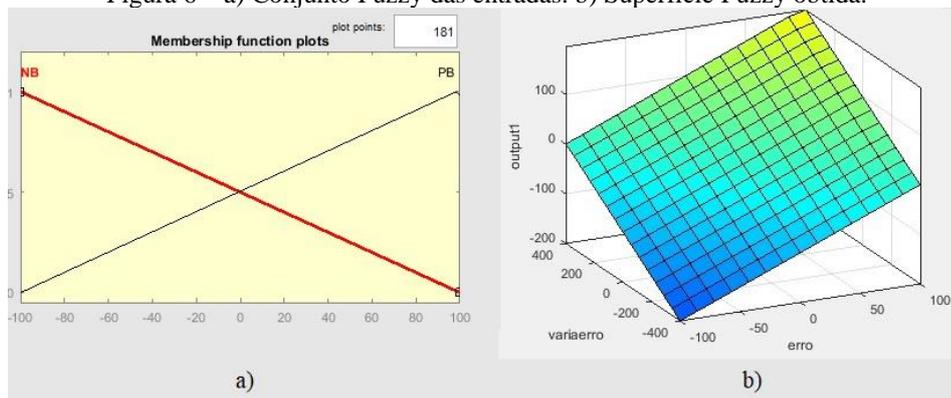
Na segunda etapa, Identificação de Fatos, foram organizados grupos de discentes que discutiram os conhecimentos que eram conhecidos, bem como os que não eram. Os discentes já possuíam o conhecimento da planta, do PID tradicional projetado, de suas equações, da

Lógica Fuzzy, do número de variáveis de entrada e de saída e não sabiam como implementar o sistema Fuzzy (suas regras, os conjuntos Fuzzy e o universo de discurso) e nem como fazer o controlador Fuzzy.

Para iniciar a terceira etapa, Formulação de Hipóteses, foi questionado aos discentes qual eram as características de um PID tradicional, como seria a sua forma de decisão, a superfície de entradas versus saída. Isso levou vários grupos a pensarem em sistemas lineares. Com isso, os grupos passaram para a quarta etapa, Deficiências de Conhecimento, onde eles tiveram que descobrir como implementar a superfície de forma linear. Alguns grupos pesquisaram na internet para descobrir a resposta enquanto outros grupos fizeram simulações do sistema Fuzzy. Foi orientado a todos os grupos a utilizar o universo de discurso das entradas de [-100 100], considerado como porcentagens e o universo de saída de [-200 200], isto para que o controlador pudesse oferecer um valor maior com o intuito de acelerar a resposta.

A quinta etapa se iniciou com a aplicação desses novos conhecimentos. A Figura 6a mostra as variáveis de entrada (erro e variação do erro) bem como a superfície obtida (Figura 6b). Na saída foram usados três conjuntos Fuzzy: positivo grande (PB=200), zero (ZE=0) e negativo grande (NB=-200).

Figura 6 – a) Conjunto Fuzzy das entradas. b) Superfície Fuzzy obtida.



Com a superfície definida, os grupos passaram a fase de Abstração (sexta etapa) refletindo sobre o que eles tinham conseguido aprender até o momento e discutindo o que ainda faltava para terminar o projeto do controlador PD+I. Terminado este primeiro ciclo, os discentes obtiveram o sistema Fuzzy com suas entradas e saídas definidas, faltava definir os ganhos do controlador Fuzzy.

Para continuar a resolver o problema, as etapas 3, 4, 5 e 6 do ciclo da PBL foram realizadas novamente, onde os discentes tiveram que usar a equação do controlador PID tradicional e comparar com o controlador Fuzzy PD+I da Figura 4. A equação (1) se refere ao controlador PID tradicional e a equação (2) é referente ao controlador Fuzzy PD+1 para a superfície linear, a qual pode ser obtida através da Figura 4.

$$u(n) = Kp \left[e(n) + \frac{1}{T_i} \sum_{j=1}^n e(j) \cdot T_s + T_d \left(\frac{e(n) - e(n-1)}{T_s} \right) \right] \quad (1)$$

$$U(n) \cong \left[GE \cdot e(n) + GIE \cdot \sum_{j=1}^n e(j) \cdot T_s + GCE \cdot \left(\frac{e(n) - e(n-1)}{T_s} \right) \right] \quad (2)$$

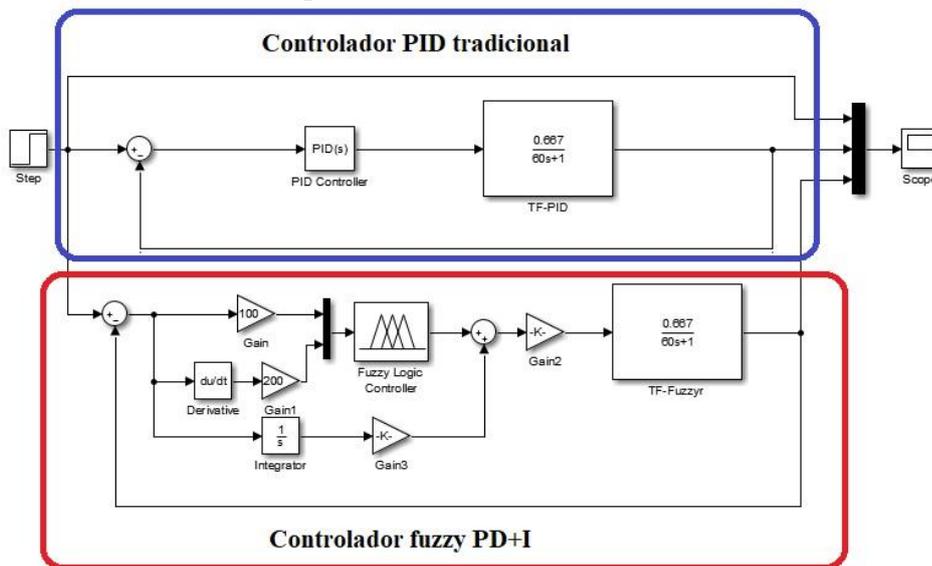
Rearranjando a equação (2) e comparando com a equação (1), foram obtidas as seguintes relações, ilustradas na equação (3):

$$K_p = GU \cdot GE \quad T_d = \frac{GCE}{GE} \quad \frac{1}{T_i} = \frac{GIE}{GE} \quad (3)$$

Os discentes simularam e ajustaram a planta com uma entrada degrau unitário, obtendo os valores de K_p , T_d e T_i . Através desses três valores de variáveis, tiveram que obter as quatro incógnitas (GU , GE , GCE e GIE). Só foi orientado para eles pensarem na variável erro, isto é, qual o seu universo de discurso e a entrada utilizada. Com isso, facilmente, eles assumiram $GE = 100$ e obtiveram os outros valores.

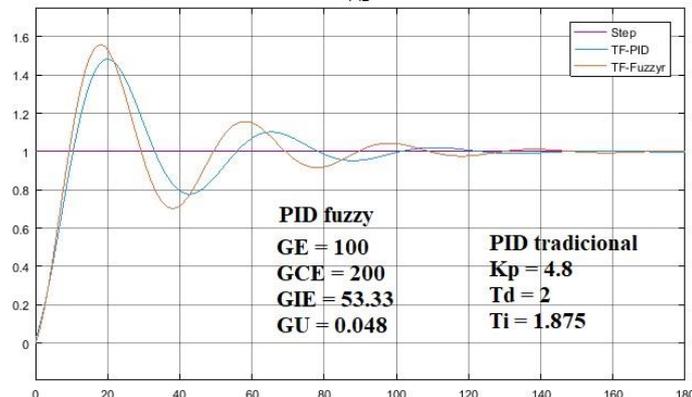
A Figura 7 mostra o controlador PID tradicional dentro do bloco azul e o controlador Fuzzy PD+I dentro do bloco vermelho. A Figura 7, também, mostra a planta usada para estudos.

Figura 7 – Controladores estudados.



Os dois controladores têm resposta bem próximas como pode ser notado pela Figura 8. O controlador PID tradicional (na cor azul) tem menor sobressinal e um tempo de resposta um pouco mais rápido, em torno de 120 segundos, do que o controlador Fuzzy PD+I (na cor vermelho).

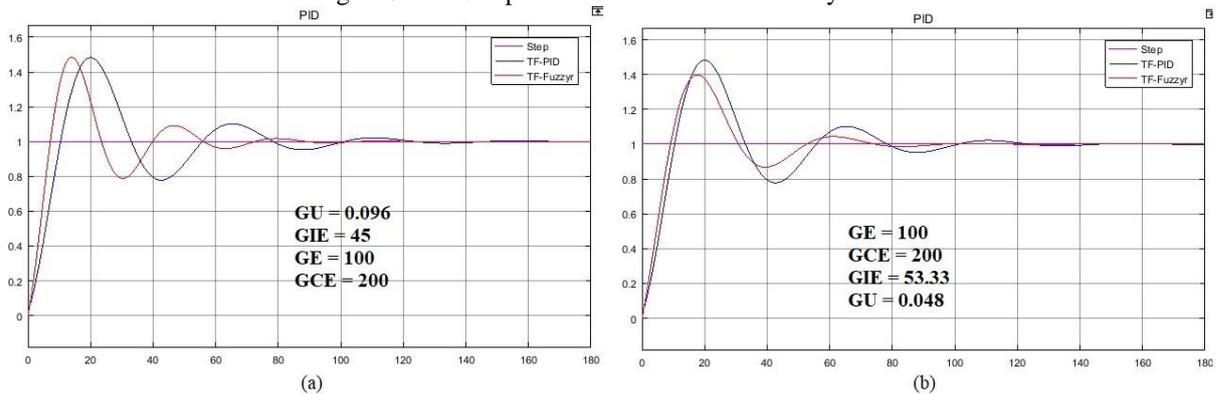
Figura 8 – Simulação dos dois controladores.



Para melhorar o desempenho do controlador Fuzzy PD+I, os discentes tiveram que passar novamente pelas etapas 3, 4, 5 e 6 do ciclo da PBL. Nesse novo ciclo, os discentes tiveram liberdade para alterar o sistema para tentar obter um melhor desempenho. Também, foi

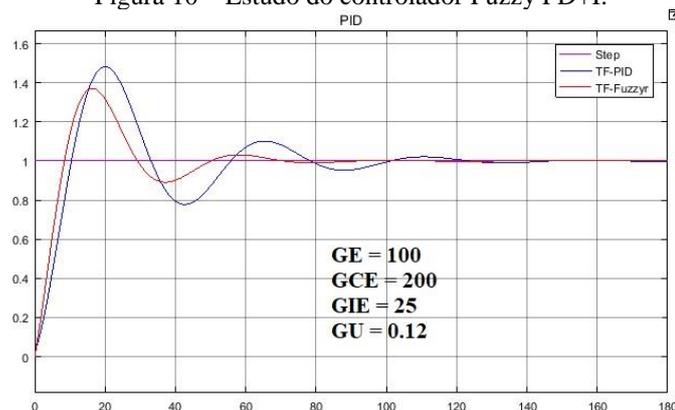
solicitado o raciocínio que eles usaram para fazer os ajustes divulgando para toda a classe. A Figura 9 mostra resultados de dois grupos. Na Figura 9a), o grupo concluiu que deveriam aumentar o ganho da saída do sistema (GU) para acelerar o processo e diminuir o ganho do integrador (GIE) uma vez que o aumento na saída do sistema ao mesmo tempo que acelerava o sistema ocasionava um maior sobressinal. O grupo da Figura 9b) optou por aumentar o universo do discurso do raciocínio Fuzzy usando PG como 400, ZE como 0 e NG como -400. Os dois sistemas melhoraram o desempenho do sistema comparado ao controlador PID tradicional.

Figura 9 – Desempenho dos controladores Fuzzy PD+I.



Outra conclusão baseada nas informações dos dois grupos foi que a diferença entre as duas alterações aconteceu porque no primeiro caso (Figura 9a) aumentando o ganho da saída (GU) estava-se automaticamente aumentando o ganho do integrador ocasionando um maior sobressinal. No segundo caso (Figura 9b) o aumento foi apenas na saída da lógica Fuzzy, não incidindo sobre o ganho do integrador. A Figura 10 mostra estudo de outro grupo, aumentando o ganho de saída (GU) em um fator de 3 e diminuindo em um quarto, aproximadamente, o ganho do integrador (GIE).

Figura 10 – Estudo do controlador Fuzzy PD+I.



4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização da aprendizagem baseada em problemas (PBL) com o projeto de um controlador Fuzzy PD+I permitiu aos discentes obterem, de uma forma clara e consistente, uma metodologia para o projeto desse controlador.

Foi objetivo da aula o de solidificar os conteúdos aprendidos nas aulas expositivas das disciplinas anteriores, levando os discentes a observarem, questionarem e analisarem os resultados obtidos com os teóricos. Nesse ponto foi muito proveitoso, pois os discentes tiveram oportunidade para errarem e acertarem por causa de suas decisões tornando o aprendizado mais sólido.

No problema utilizado, os discentes tiveram que ter habilidade de capacidade de pesquisa para obter a superfície linear da lógica Fuzzy. Alguns grupos pesquisaram métodos de ajustes do controlador Fuzzy PD+I. Os discentes tinham acesso à internet e ficaram livres para pesquisar o que desejassem.

Outro resultado do PBL foi a interação entres os discentes e a interação com o professor, que levou a vários questionamentos e trocas de informações. Isso foi muito positivo, especialmente a interação entre os discentes no próprio grupo e a interação entre os grupos. Isso incentivou a habilidade de comunicação oral, a análise e discussão sobre o problema. Mais importante ainda, foi que os discentes tiveram respeito às opiniões de outros.

Pela Pirâmide de Aprendizagem (LEITE, 2018) o aproveitamento do aprendizado é cerca de 70% quando há discussão em grupo e cerca de 90% quando estão praticando ou ensinando. Como o aprendizado na metodologia PBL se dá com os discentes trocando informações, discutindo e ensinando, isso tudo motivou os discentes deixando-os mais livres para explorarem e utilizarem o conhecimento no projeto do controlador aumentando sua análise crítica e capacidade de solução de problemas.

Os resultados obtidos foram positivos, nos quais os discentes reforçaram seus conhecimentos técnicos sobre lógica e controladores Fuzzy, aprenderam a projetar um controlador Fuzzy PD+I, além de confirmarem e observarem a importância dos ajustes adequados dentro do sistema. Dessa forma a proposta da solução e a observação de sua aplicação incentivaram os discentes tornando o aprendizado mais agradável e sólido.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, E.F.; MOURA, D.G.. Metodologias ativas de aprendizagem na Educação Profissional e Tecnológica. **Boletim Técnico do Senac**, Rio de Janeiro, vol. 39, n° 2, p. 48-67, 2013.

DEWEY, John. **Vida e educação**. São Paulo: Nacional, 1950.

FENG, G. A Survey on Analysis and Design of Model-Based Fuzzy Control Systems. **IEEE Transactions on Fuzzy Systems**, vol. 14, n° 5, p. 676-697, 2006.

FONTES, L.M.O.; MENDES NETO, F.M.; PONTES, A.A.A. Um Sistema Multiagente de Apoio à Aprendizagem Baseada em Problemas. **Revista Brasileira de Computação Aplicada**, Passos Fundos, vol.3, n° 2, p.103-117, setembro, 2011.

GOMIDE, F. A. C.; GUDWIN, R. R. Modelagem, Controle, Sistemas e Lógica Fuzzy. **SBA Controle & Automação**, v.4, n° 3, pp.97-115, setembro-outubro, 1994

HADGRAFT, Roger G.; PRPIC, Juliana K. The key dimensions of problem-based learning. In: 11th Annual Conference and Convention of the Australia an Association for Engineering Education, **Anais**, Adelaide, Austrália, 1999.

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

LEITE, B.S. Aprendizagem Tecnológica Ativa. **Revista Internacional de Educação Superior** [RIESup], vol.4, nº 3, p.580-608, set/dez, 2018.

MASTERS, K. Edgar Dale's Pyramid of Learning in medical education: A literature review. **Medical teacher**, Sultanato de Omã, v. 35, n. 11, p. e1584-e1593, 2013.

MUNHOZ, Antônio Seimsen. **ABP: Aprendizagem Baseada em Problemas**. Cengage Learning, São Paulo, 2016.

PIMENTEL, F. **Metodologias Ativas. Educação Online**. Disponível em: <http://fernandospimentel.blogspot.com.br/2010/08/metodologias-ativas.html>. Acesso em: 10 jan. 2019.

PINTO, Danilo P.; GOMES, Francisco J.; FARAGE, Michele C.R.; BASTOS, Flávia S. Eficiência Energética nas Escolas: Gerenciamentos Grupos Multidisciplinares usando PjBL. In: XL Congresso Brasileiro de Ensino em Educação, **Anais**, Belém, 2012.

SOARES, Maria Alves et al. Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) ou Problem-Based Learning (PBL): podemos contar com essa alternativa? In: LEAL, Edvalda Araújo; MIRANDA, Gilberto José; CASA NOVA, Sílvia Pereira de Castro (Orgs). **Revolucionando a Sala de Aula**. 1ª ed. São Paulo. Editora Atlas, 2017. p.105-124.

ZADEH, L. A. Fuzzy Sets. **Information and Control**, vol.8, pp 338-353, 1965.

APPLYING PBL TO IMPROVE THE PERFORMANCE OF A FUZZY PD + I CONTROLLER

Abstract: *The lectures-based lessons focused on the teacher make the learning a mechanical activity, with little student's interaction in the learning process. In order to motivate students and transform them into an integral part of the process several active learning methods have been presented: PBL (problem-based learning), Peer instruction, Role-play, Storytelling, and so on. In this paper the PBL was used to solve the problem of designing a Fuzzy PD + I Controller to improve the performance of a traditional PID controller. This methodology encourages the development of several abilities, such as: communication, group work, creativity, analysis, project development and ability to solve. Students asked, questioned and exchanged information to acquire knowledge. The aim of the work was to solidify the technical knowledge learned in theoretical classes, as well as the abilities to work in groups, to analyze and propose solutions. The results were positive, with the students reinforcing their theoretical knowledge in the solution of designing a Fuzzy PD + I Controller that had a better performance than the traditional PID controller. It was positive, too, the students' abilities to solve the problem, such as: Internet searches, communication within and between groups, respect for peers, analysis, project development and propose solution.*

Key-words: Active Methodologies. PBL. Teaching-Learning