



IMPLEMENTAÇÃO DE UM CONTROLADOR PD+I FUZZY PARA DESENVOLVER COMPETÊNCIAS

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2024.4865

Autores: TELMA ELLEN DRUMOND FERREIRA

Resumo: As novas Diretrizes Curriculares Nacionais (DCNs) para as Engenharias estabelece o objetivo de desenvolver competências e não apenas conteúdos como era instruídos nas DCNs anteriores. As metodologias ativas são estratégias didáticas que promovem o desenvolvimento dessas competências, motivando os discentes a atuarem como agente ativo na aprendizagem. Várias metodologias ativas foram desenvolvidas entre elas a Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL), na qual os discentes devem aplicar seus conhecimentos e desenvolver competências para solucionar um problema. Neste artigo foi utilizada a metodologia PBL para projetar e implementar um controlador PD+I fuzzy com o objetivo de melhorar o desempenho de um controlador PID tradicional. Essa metodologia trabalhou as seguintes competências criadas para o curso de Engenharia Elétrica da UFSCar (Universidade Federal de São Carlos) de Aprender, Modelar, Projetar, Comunicar, Pautar e Liderar. Os resultados obtidos foram positivos com os discentes reforçando seus conhecimentos teóricos na solução do projeto do controlador PD+I fuzzy apresentando um melhor desempenho no tempo de subida de resposta do sistema, em média 17.8%. Também foram positivas as competências desenvolvidas na busca da solução do problema sendo que os discentes praticaram diversas atividades, 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, Competências, Ensino Aprendizagem.

IMPLEMENTAÇÃO DE UM CONTROLADOR PD+I FUZZY PARA DESENVOLVER COMPETÊNCIAS

1 INTRODUÇÃO

Em seu artigo 4º, as novas Diretrizes Curriculares Nacionais (DCNs) (Brasil, 2019) para as engenharias estabelece o objetivo de desenvolver competências e não apenas conteúdos como era instruídos nas DCNs anteriores. Para o desenvolvimento de competências, o professor pode usar estratégias didáticas por meio de projetos em grupos, debates, sala de aula invertida, *peer instruction* entre outras metodologias ativas.

O termo competência se origina da palavra latina *competentia*, significando proporção, simetria, concordância, ser próprio (Zanona & Peterossi, 2014). Para Lê Boterf (2003): “Competência é a capacidade do sujeito mobilizar recursos visando abordar e resolver situações complexas”. A competência a sempre envolve o uso de conhecimentos inter-relacionados a habilidades e atitudes (Zabala & Arnau, 2010). Portanto, para Zabala & Arnau (2010), as competências devem ser constituídas de: conhecimentos (o saber), habilidades (saber fazer) e atitudes (como ser).

Aprendizagem ativa é o processo de fazer com que os alunos se envolvam em alguma atividade que os forcem a refletir sobre ideias e como as estão usando (Michael, 2006). Neste processo, os alunos devem coletar informações (conhecimentos), saber utilizar os conhecimentos para resolver problemas (habilidades) e deve ter atitudes (ser crítico, responsável, tolerante, cooperativo entre outras). Por isso, as metodologias ativas são estratégias de aprendizagem úteis para o desenvolvimento de competências.

Segundo Barbosa e Moura (2013), a aprendizagem ativa ocorre quando há interação entre o aluno e o assunto em estudo (ouvindo, falando, perguntando, discutindo, fazendo e ensinando) com o intuito a construir o conhecimento ao invés de adquiri-lo do professor de uma forma passiva. Os professores, dentro da aprendizagem ativa, devem atuar como orientador, supervisor e facilitador do processo de aprendizagem, e não apenas como a única fonte do conhecimento.

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 (Soares et al, 2017). O objetivo principal da Aprendizagem Baseada em Problemas é o aprendizado, onde os discentes passam a maior parte do tempo aprendendo e identificando o que precisam saber, descobrindo, ensinando uns aos outros para depois aplicar o novo conhecimento (HADGRAFT & PRPIC, 1999).

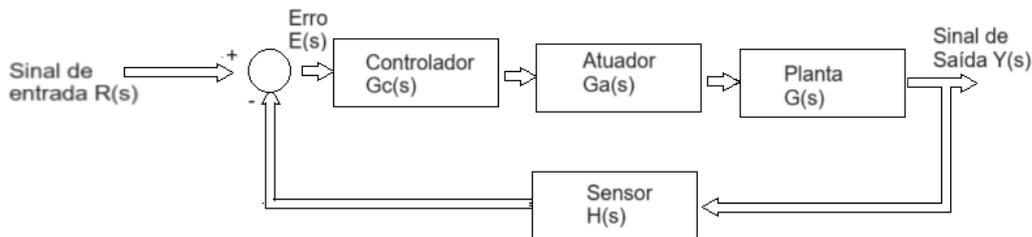
Este trabalho tem como objetivo identificar as competências do curso de Engenharia Elétrica da UFSCar (Universidade Federal de São Carlos) na aplicação da metodologia ativa PBL na disciplina de Controle Inteligente. O problema utilizado para estudo foi o de melhorar o desempenho de um controlador Fuzzy PD+I projetado a partir de em um controlador PID tradicional e realizar sua implementação. Os controladores PID tradicionais são amplamente utilizados no parque fabril, mas nem sempre o seu desempenho é satisfatório o que gera perda de tempo e aumento de custos. Os controladores inteligentes surgiram justamente para melhorar o desempenho ou atuar em sistemas onde os controladores PID tradicionais não são adequados.

O trabalho está estruturado em quatro seções. Na segunda seção é apresentado informações sobre os sistemas de controle. A terceira seção mostra as competências do curso de Engenharia Elétrica da UFSCar. Na quarta seção é descrito o desenvolvimento da metodologia aplicada e a quinta seção finaliza com as considerações finais.

2 SISTEMAS DE CONTROLE

Um sistema de controle é definido como uma interconexão de componentes formando um sistema que produzirá a resposta desejada do sistema (DORF & BISHOP, 2015). A Figura 1 mostra um diagrama em blocos de um sistema de controle onde pode-se notar seus componentes.

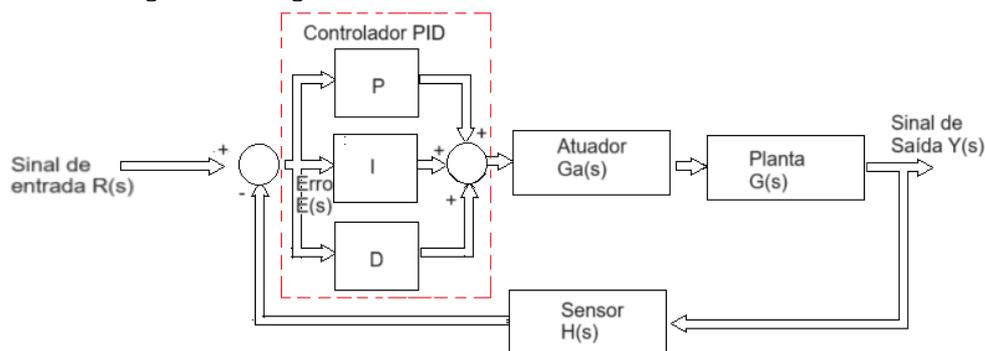
Figura 1 – Diagrama em blocos de um sistema de controle.



Fonte: próprio autor.

No diagrama em blocos da Figura 1, o Controlador, através da variável erro, é o responsável por enviar o sinal adequado ao Atuador para que a planta atinja ou mantenha o sinal desejado na saída. 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. Segundo Ogata (2010), mais da metade dos controladores industriais em uso atualmente emprega o controle PID ou PID modificado. A Figura 2 mostra o diagrama em blocos de um sistema em malha fechada controlado por um controlador PID.

Figura 2 – Diagrama em blocos de um sistema de controle PID.

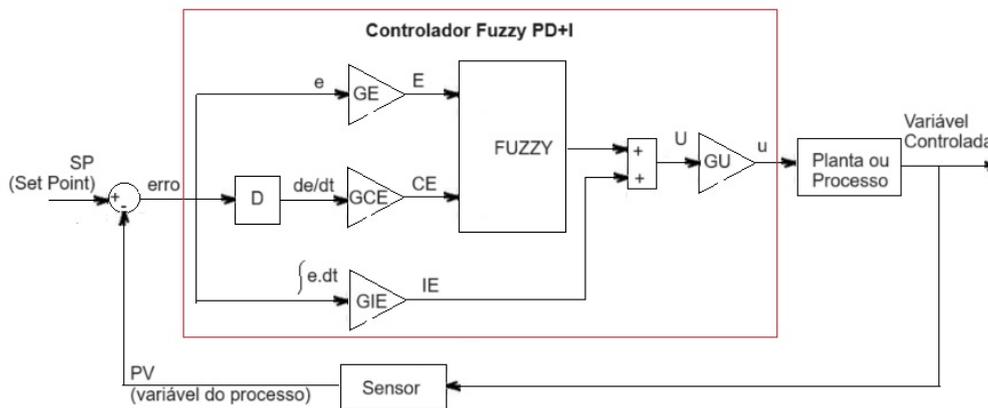


Fonte: próprio autor.

Através da Teoria dos Conjuntos Fuzzy, é dado ao Controlador Fuzzy habilidade de manipular não linearidades e incertezas (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, controlador Fuzzy-PD, controlador Fuzzy PD+I e controlador Fuzzy Incremental. Sendo que o controlador Fuzzy PD+I corresponde ao controlador PID convencional e o controlador Fuzzy Incremental é análogo ao controle PI convencional. Neste trabalho foi usado o controlador Fuzzy PD+I, cujo diagrama em blocos é mostrado na Figura 3. Pela Figura 3 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 ($\int e \cdot dt$). 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 3 – Diagrama de um Controlador Fuzzy PD+I



Fonte: próprio autor.

3 COMPETÊNCIAS DO CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Oliveira (2019) indica que o artigo 4º das novas DCNs (Brasil, 2019) provavelmente apresente a maior diferença com a resolução anterior para as engenharias, dando mais ênfase no desenvolvimento de competências. Seguindo as determinações dessa nova resolução, a UFSCar tem realizado uma estratégia de implementação das novas DCNs onde a Pró-reitoria de Graduação e o centro de ciência exata e de tecnologia (CCET) promoveram esclarecimentos e discussões sobre o tema aos professores e coordenadores.

Tomando por base as competências listadas nas novas DCNs bem como nas competências definidas pela UFSCar no documento Perfil do profissional a ser formado na UFSCar” (UFSCar, 2021), o NDE (Núcleo Docente Estruturante) do curso de Engenharia Elétrica da UFSCar realizou um estudo onde definiu as competências desejadas para o curso. Através deste estudo foram definidas as seguintes competências gerais e específicas para serem desenvolvidas:

- **Aprender:** aprender de forma autônoma e contínua, adequando-se às exigências profissionais interpostas pelo avanço tecnológico e da utilização de forma crítica de diferentes fontes de informação
 - **Interagir** com fontes diretas (observação e coleta de dados em situações reais e experimentais).
 - **Interagir** com fontes indiretas (os diversos meios de comunicação, divulgação e difusão: “abstracts”, relatórios técnico-científicos, relatos de pesquisa, artigos de periódicos, livros, folhetos, revistas de divulgação, jornais, arquivos, mídia eletroeletrônica e outras, específicos da comunidade científica ou não).
 - **Selecionar e examinar** criticamente as fontes de informação.
 - Ser capaz de assumir atividade investigativa e autônoma

- **Comunicar:** comunicar nas formas escrita, oral e gráfica a fim de produzir e difundir conhecimentos relacionados à Engenharia Elétrica
 - Ser capaz de se **expressar** adequadamente, inclusive por meio do uso consistente de tecnologias digitais de informação e comunicação
 - **Relatar** e **apresentar** ideias, projetos, resultados e trabalhos realizados
- **Modelar:** Compreender os sistemas e fenômenos por meio de conhecimentos prévios e modelá-los matematicamente, física ou computacionalmente, analisando os resultados e validando-os por experimentação.
 - **Modelar** sistemas e fenômenos utilizando as ferramentas pertinentes.
 - **Prever** os resultados dos sistemas por meio dos modelos.
 - **Realizar** experimentos que gerem resultados reais para o comportamento dos sistemas e fenômenos em estudo.
 - **Verificar e validar** os modelos.
- **Projetar:** projetar soluções na área de Engenharia Elétrica, técnica e economicamente viáveis, considerando a legislação, a ética, o usuário e o seu contexto.
 - **Avaliar** procedimentos e analisar sistemas e produtos (bens e serviços).
 - **Determinar** parâmetros construtivos e operacionais, considerando a legislação, a ética, o usuário e o seu contexto.
 - **Aplicar** conceitos de gestão na elaboração de projetos e serviços relacionados à Engenharia Elétrica.
 - **Propor** soluções tecnicamente viáveis em Engenharia Elétrica.
 - **Analisar** a viabilidade econômica das soluções propostas em Engenharia Elétrica.
- **Liderar:** gerenciar e trabalhar em equipes multidisciplinares, atuando de forma colaborativa e reconhecendo as potencialidades e limites dos envolvidos.
 - **Interagir** com as diferentes áreas, mediante o trabalho em equipes presenciais ou à distância, de modo que facilite a construção coletiva.
 - **Atuar** de forma colaborativa, ética e profissional em equipes.
 - **Aplicar** conceitos de gestão para planejar e supervisionar projetos, de forma proativa e colaborativa, definindo as estratégias e construindo o consenso nos grupos.
 - **Coordenar**, tanto recursos humanos quanto recursos materiais, para implantação das soluções de Engenharia.
 - **Tomar** decisões e desencadear ações, considerando simultaneamente potencialidades e limites dos envolvidos e exigências da atuação profissional.
- **Pautar:** atuar profissionalmente sob os princípios da ética, solidariedade, equidade social e responsabilidade técnico-econômico-sócio-ambiental, respeitando a legislação e avaliando os impactos das atividades desenvolvidas.
 - Ser capaz de **compreender e atuar** respeitando a legislação.
 - **Conhecer** direitos individuais e coletivos, **respeitando** as diferenças culturais, políticas e religiosas.
 - **Compreender** as interrelações entre homem, ambiente, tecnologia e sociedade de forma holística, bem como identificar problemas a partir delas.
 - **Avaliar** os impactos das atividades desenvolvidas na sociedade e no meio ambiente.
 - **Cumprir** deveres, com ética e responsabilidade profissional.
- **Empreender:** Conceber soluções criativas para problemas relevantes com benefícios econômico-sócio-ambientais diretos à sociedade, implantando novos empreendimentos e gerando oportunidades de forma diversificada.
 - **Identificar** problemas relevantes para a sociedade.

- **Extrapolar** conhecimentos e habilidades para diferentes situações dentro de seu campo de atuação profissional.
- **Propor e projetar** soluções criativas para os problemas identificados.
- **Implantar** soluções criativas para os problemas identificados.
- **Identificar** novas necessidades de atuação profissional e construir possibilidades para essas necessidades detectadas.
- **Comprometer-se** com os resultados da atuação profissional.
- **Liderar** empreendimentos em seus principais aspectos: produtivo, financeiro, pessoal e mercadológico.

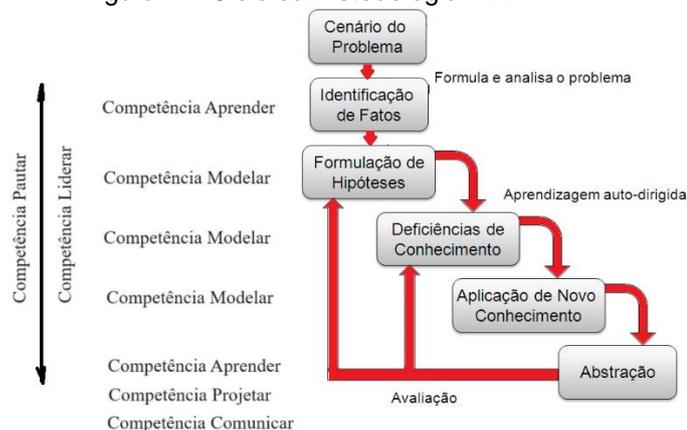
4 METODOLOGIA

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.

O problema a ser resolvido consistiu em melhorar o desempenho de um controlador PD+I projetado a partir de um controlador PID tradicional, além de realizar sua implementação. O objetivo do trabalho foi de desenvolver as competências de: aprender, comunicar, modelar, projetar e pautar. A metodologia utilizada foi a PBL.

Hmelo-Silver (2004) apresenta a metodologia PBL constituída de cinco etapas (Figura 4). A primeira etapa do ciclo é a apresentação do cenário, no caso foi proposto melhorar o desempenho da resposta de um motor elétrico.

Figura 4 – Ciclo da metodologia PBL.



Fonte: adaptada de Hmelo-Silver (2004).

Na segunda etapa (Identificação de fatos) são formados grupos de discentes que analisam o problema identificando fatos relevantes. Nesta etapa os discentes trabalham a competência “Aprender”, onde são resgatados os conteúdos aprendidos em aulas ou em outras disciplinas bem como o procura dos novos conhecimentos necessários. Os discentes já tinham aprendido na disciplina de Sistema de Controle 1 o modelamento da planta, levantando seus parâmetros bem como projetado um controlador PID tradicional e feito sua sintonia pelo método de Ziegler-Nichols. No curso atual (Controle Inteligente), os discentes tiveram contato com controladores fuzzy. Também, são definidos os componentes físicos a serem utilizados (microcontrolador, interfaces de entrada e saída).

Com os conhecimentos adquiridos e estudados, os discentes geram hipóteses para possíveis soluções a serem utilizadas (etapa Formulação de Hipóteses). A próxima etapa

(Deficiências de Conhecimento) é importante para identificar deficiências relativas ao problema (HMELO-SILVER, 2004). Nesta etapa e na anterior as competências de “Modelar” são aplicadas nas simulações dos projetos. A competência “Modelar” também foi utilizada na programação do microcontrolador definido.

A etapa aplicação de novos conhecimentos, o grupo aplica o novo conhecimento realizando e verificando os resultados das simulações (competência “Modelar”) e avaliando o progresso obtido. A última etapa (Abstração), os discentes devem refletir sobre o conhecimento adquirido e verificar se há necessidade de reformular alguma hipótese ou não.

As competências “Pautar” e “Liderar”, também são aplicadas durante todo o trabalho, pois as etapas são realizadas em grupo. No fim do projeto, o mesmo deve ser implementado (competência “Projetar”), e deve ser elaborado um relatório final (competência “Comunicar”).

Algumas dessas competências podem ser avaliadas, através de rubricas (para relatório e para seminário) ou no acompanhamento dos grupos. As competências “Pautar” e “Liderar” são de cunho socioemocionais, que podem ser afetadas por problemas pessoais.

Essas etapas da PBL são aplicadas para solucionar várias tarefas:

- a) Obter experimentalmente os parâmetros do motor utilizado.
- b) Projetar e simular o controlador PID, obter os parâmetros P, I e D ajustados (usando método de sintonia Ziegler-Nichols).
- c) Obter uma superfície linear para o controlador PD+I fuzzy e ajustar os parâmetros de ganhos (CE, CGE, CIE e CU da Figura 3) para que tivesse o mesmo desempenho do controlador PID ajustado.
- d) Estudar e modelar uma superfície não linear no controlador PD+I fuzzy com o objetivo de melhorar o desempenho do sistema.
- e) Definir o microcontrolador a ser usado.
- f) Implementar o controlador PD+I fuzzy, comparando com o controlador PID tradicional.

Foi utilizado um motor DC de 24V, 2A e velocidade nominal de 2200rpm (Figura 5). Os grupos realizaram o levantamento dos parâmetros (item a)) e usando software de simulação (Matlab/Simulink) fizeram e ajustaram os parâmetros do controlador PID tradicional (item b).

Figura 5 – Motor DC utilizado

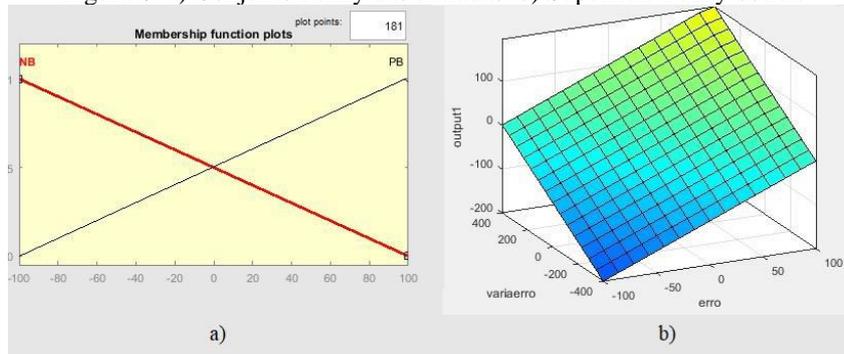


Fonte: próprio autor.

No item c), o problema era gerar um controlador PD+I fuzzy que tivesse o mesmo desempenho de um controlador PID clássico. Para isso a superfície do controlador fuzzy

deveria ser linear. Após obter essa superfície linear, o próximo passo foi de obter uma superfície não linear que oferecesse um melhor desempenho (item d)). A Figura 6a mostra as variáveis de entrada (erro e variação de erro) e a Figura 6b apresenta a superfície linear obtida. Para obter essa superfície linear, as funções de pertinências devem ser retas ou triangulares (no caso da Figura 6 foram usadas retas) e devem ser interceptar no meio da escala do eixo das ordenadas.

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



Fonte: próprio autor.

Depois de obter a superfície linear fuzzy foram levantados os valores dos ganhos do controlador PD+I fuzzy da Figura 3 usando as equações do PID (eq. 1) e do controlador PD+I fuzzy (eq. 2).

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

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

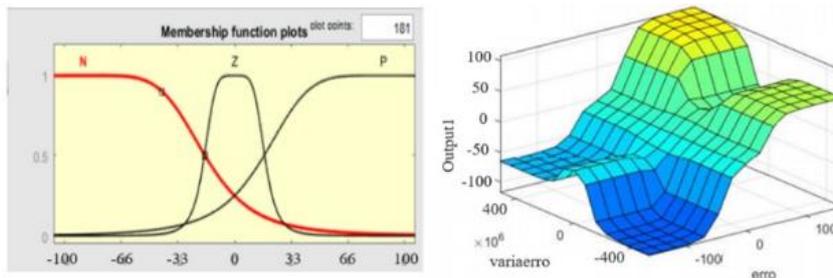
Comparando as duas equações, chega-se às seguintes relações:

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

Com esses valores a resposta dos dois sistemas são próximas, alguns ajustes podem ser feitos nesses ganhos para melhorar a resposta. Outra forma de melhorar o desempenho do sistema é utilizar uma superfície não linear. Na Figura 7a foi usada funções gaussianas nas entradas, obtendo a superfície não linear da Figura 7b. O grupo autor da Figura 7 usaram 3 funções de pertinência gaussianas nas entradas e utilizaram 5 funções de pertinência gaussianas na saída. Nesta etapa, os grupos tiveram liberdade da escolha das funções de pertinências bem como a quantidade de funções utilizadas.

Nesta parte, os ensaios foram feitos no simulador para obter o melhor desempenho conseguido pelo grupo. Definindo o melhor ajuste de parâmetros e superfície, o próximo passo foi de implementar o sistema.

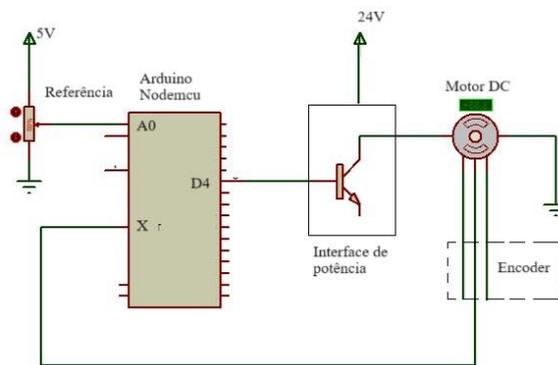
Figura 6: a) Conjunto Fuzzy das entradas. B) Superfície não linear obtida.



Fonte: próprio autor.

Os grupos definiram o microcontrolador a ser utilizado (item e). Na disciplina de aplicação de microcontroladores, os alunos trabalham com microcontrolador ARM. Para o desenvolvimento deste trabalho, os grupos optaram por usar a plataforma Arduino ou Nodemcu. Essas plataformas integram hardware e software de uma maneira mais amigável, de baixo custo e ambas podem utilizar a IDE do Arduino para confecção dos programas. A Figura 7 apresenta um diagrama em blocos do sistema implementado onde pode-se notar o bloco de Interface de potência. O bloco de Interface de potência é necessário pois o microcontrolador não tem potência suficiente para acionar o motor. Alguns grupos implementaram a Interface de potência através de transistores de potência e outros grupos optaram por usar o driver ponte H L298N.

Figura 7 – Diagrama em blocos do sistema implementado.



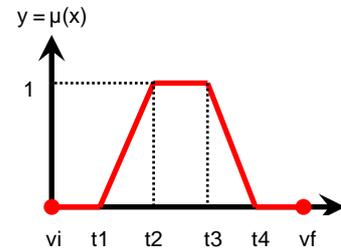
Fonte: próprio autor.

Para implementar o sistema no microcontrolador havia duas opções, ou o grupo transformava a superfície não linear em uma matriz ou implementava todas as funções de pertinências no microcontrolador. Para transformar a superfície não linear do simulador em uma matriz, os grupos tiveram que confeccionar um programa que lia cada ponto da superfície que seria o valor da matriz. Os índices i e j da matriz seriam referentes ao erro (índice i) e à variação de erro (índice j). Neste método o problema é o tamanho da memória do microcontrolador usado. Os grupos que optaram por usar, por exemplo, o Arduino Uno tiveram problema por causa do tamanho da memória desse componente que tem apenas 2 KB. A solução seria usar um microcontrolador com maior capacidade de memória ou implementar todas as funções de pertinências no microcontrolador.

O Código 1 apresenta a implementação das funções de pertinências triangulares e trapezoidais. Nota-se que quando $t_2=t_3$, a função trapezoidal se transforma na função triangular.

Código 1 – Implementação das funções de pertinências triangulares e trapezoidais.

```
float FPT(float x, float t1, float t2, float t3, float t4) {
    float y=0.0; // valor default da pertinencia
                // se t2 = t3, a FP é triangular
    if(x>t1 && x<t2) y=(x-t1)/(t2-t1);
    if(x>=t2 && x<=t3) y=1.;
    if(x>t3 && x<t4) y=(t4-x)/(t4-t3);
    return y; // valor de retorno para função "loop"
}
```

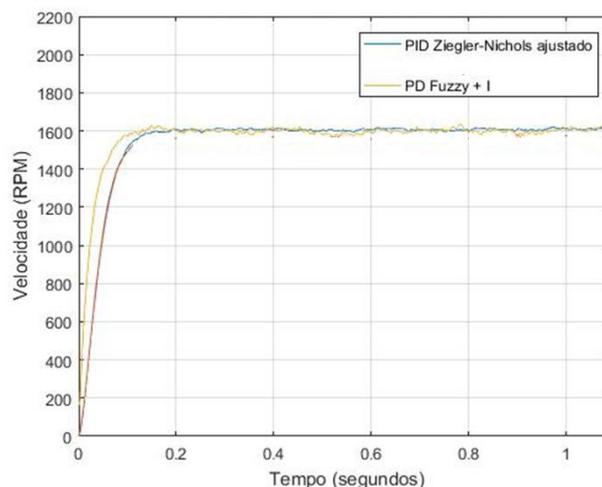


Fonte: próprio autor.

Com o código definido foi implementado o sistema. Alguns grupos apresentaram problemas na programação, geralmente divisão por zero, e alguns problemas de hardware. Os grupos e seus líderes trocaram informações compartilhando conhecimentos para resolver esses problemas.

A Figura 8 apresenta o resultado da implementação obtido por um grupo. Pela Figura 8, o controlador PD+I fuzzy teve um desempenho um pouco melhor do que o controlador PID convencional. O tempo de subida do controlador PD+I fuzzy foi mais rápido e com menor tempo de estabilização. Pela Figura 8 o tempo de subida acelerou em torno de 17.8% e tempo de estabilização em torno de 0.11s. No caso deste resultado, o grupo optou por fazer a superfície não linear, não alterando os valores de ganho do controlador PD+I fuzzy.

Figura 8 – Desempenho do controlador PID convencional x controlador PD+I fuzzy



Fonte: próprio autor.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto do controlador PD+I fuzzy utilizando a metodologia da aprendizagem baseada em problemas (PBL) permitiu aos discentes obterem e trabalharem diversas competências (Aprender, Modelar, Projetar, Comunicar, Liderar e Pautar).

Os discentes tiveram que trabalhar conteúdos aprendidos em aulas expositivas bem como adquirir novos conhecimentos extraclasse desenvolvendo a competência Aprender. Em geral, os grupos não tiveram problemas na busca das novas informações, uma vez que algumas informações foram divulgadas pelo professor e outras informações foram obtidas na interação entre os grupos. Numa pesquisa, via formulário, os alunos pontuaram essa competência com a nota 4.8, sendo que a escala variava na ordem de 1 (menos importante) a 5 (muito importante).

Como houve as interações entre os grupos e dentro dos próprios grupos, as competências Pautar e Liderar foram trabalhadas. Nessas competências, as novas variam de 1 (pouco respeito e colaboração entre os participantes) até 5 (houve total respeito e colaboração entres os participantes). A competência Pautar foi pontuada com nota máxima, mas a competência Liderar teve 4.2 indicando problemas dentro de alguns grupos. Esta nota da competência Liderar indica, também, que os problemas não foram tão graves já que a nota está acima da média 3.0.

As competências Modelar e Projetar foram consideradas importantes pelos grupos, obtendo as notas 4.8 e 5.0 respectivamente. Os discentes tiveram oportunidade de errarem e acertarem por causa de suas decisões realizando as simulações e implementação do projeto tornando o aprendizado mais sólido.

A competência Comunicar teve nota 4.1. Os alunos acham a competência importante, mas alguns alunos não se sentem à vontade quando se apresentam perante uma plateia. A interação entres os discentes e a interação com o professor levou a vários questionamentos e trocas de informações. Isso foi 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 foi o respeito que os discentes tiveram em relação às opiniões contrárias.

É interessante foi notar que os discentes gostam de passar o conhecimento que adquirem aos outros, o que segundo a famosa pirâmide de William Glasser (1986) as pessoas aprendem apenas 20% quando ouvem, quando discutem um tema essa porcentagem sobe 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 foram positivos, os grupos conseguiram melhorar o desempenho do controlador PID convencional usando o controlador PD+I fuzzy. A implementação do projeto foi importante para que os discentes reforçassem seus conhecimentos técnicos sobre lógica e controladores Fuzzy, aprendessem 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. de - Metodologias ativas de aprendizagem na Educação Profissional e Tecnológica – **Boletim Técnico do Senac**, Rio de Janeiro, vol. 39, no 2, p. 48-67, 2013.

BRASIL. Ministério da Educação. Conselho Nacional de Educação. Câmara de Educação Superior. **Resolução no 2, de 24 de abril de 2019**. Institui as Diretrizes Curriculares

Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia. 2019. Brasília: Ministério da Educação, 2019.

DORF, Richard C.; BISHOP, Robert H. **Sistemas de Controle Modernos**. 12. ed, Rio de Janeiro: LTC. 2015

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.

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

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, Australia, 1999.

HMELO-SILVER, C. E. Problem-Based Learning: What and How Do Students Learn? **Educational Psychology Review**, v. 16, n. 3, 2004

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

LÊ BOTERF, GUY. **Desenvolvendo a Competência dos Profissionais**. 3. ed, Porto Alegre: Artmed 2003.

MICHAEL, J. Where's the Evidence that Active Learning Works?. **Advances in Physiology Education**, n.30, p. 159–167, 2006.

OGATA, Katsuhiko. **Engenharia de Controle Moderno**. 5. ed, São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

OLIVEIRA, Vanderli Fava de. As Inovações nas Atuais Diretrizes para a Engenharia: Estudo Comparativo com as Anteriores. In: OLIVEIRA, Vanderli Fava de (Org). **A Engenharia e as Novas DCNs: Oportunidade para formar mais e melhores engenheiros**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019. p. 66-85.

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.

UFSCar. Plano de Desenvolvimento Institucional-PDI. **Perfil do profissional a ser formado na UFSCar**, 2021. <https://www.spdi.ufscar.br/arquivos/planejamento/pdi/pdi-ufscar-2018-2022.pdf>. Acesso em: 01 abril. 2024.

ZABALA, Antoni; ARNAU, Laia. **Como Aprender e Ensinar Competências**. Porto Alegre: Penso. 2010.

ZANONA, ROBERTA C.; PETEROSSO, HELENA G. Educar por Competências: Relato de uma Prática. In: IX Workshop de Pós-Graduação e Pesquisa do Centro Paula Souza, 2014, São Paulo. **Anais**. São Paulo. Disponível em:

<http://www.pos.cps.sp.gov.br/files/artigo/file/470/8fbb2c1b84e33391e537f74d2f07fe6f.pdf>.
Acesso em 20 março 2024.

IMPLEMENTATION OF A FUZZY PD+I CONTROLLER TO DEVELOP SKILLS

Abstract: *The new National Curricular Guidelines (DCNs) for Engineering establishes the objective of developing skills and not just content as instructed in the previous DCNs. Active methodologies are teaching strategies that promote the development of these skills, motivating students to act as active agents in learning. Several active methodologies have been developed, including Problem-Based Learning (PBL), in which students must apply their knowledge and develop skills to solve a problem. In this article, the PBL methodology was used to design and implement a fuzzy PD+I controller with the objective of improving the performance of a traditional PID controller. This methodology worked on the following skills created for the Electrical Engineering course at UFSCar (Federal University of São Carlos) of Learning, Modeling, Designing, Communicating, Guiding and Leading. The results obtained were positive with the students reinforcing their theoretical knowledge in solving the fuzzy PD+I controller project, presenting better performance in the system response rise time, on average 17.8%. The skills developed in the search for a solution to the problem were also positive, as students practiced various activities, such as: internet research, communication within and between groups, respect for peers, analysis, project development and solution capacity.*

Keywords: *Active Methodologies, PBL, Skills, Teaching-Learning.*

