

ANÁLISE DA DISCIPLINA DE PROGRAMAÇÃO INTEIRA MISTA APLICADA À OTIMIZAÇÃO DE PROCESSOS (EPUSP)

Lucas de Assis Quemelli – lucasquemelli@gmail.com

Jorge Andrey Wilhelms Gut – jorgewgut@usp.br

José Aquiles Baesso Grimoni – jose.grimoni@usp.br

Oswaldo Shigueru Nakao – nakao@usp.br

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
05508-070 – Cidade Universitária – São Paulo

Resumo: Um engenheiro químico lida com conhecimento de vários processos industriais. Nesse sentido, é importante que esse profissional esteja consciente dos métodos e ferramentas para aprimorar os processos e garantir a qualidade dos produtos por eles gerados. Por isso, é essencial que sejam buscadas formas de otimizar os processos químicos. Para tanto, a disciplina de Programação Inteira Mista aplicada à Otimização de processos – oferecida pela Escola Politécnica da USP – se mostra adequada ao tratar de otimização. Assim, foi desenvolvida uma análise da disciplina por meio de alunos que já a cursaram e por meio do professor responsável. A análise considerou dois questionários online disponibilizados um para vinte e quatro ex-alunos dos anos 2016, 2017 e 2018 e outro para o docente, utilizando o Formulários Google. Foi, também, realizada uma entrevista com o docente com o objetivo de esclarecer as experiências que ele tem tido ao lecionar. As respostas dos questionários do aluno e do professor foram comparadas e pode ser observado que as percepções de ambos estão de acordo. Os alunos consideraram o professor organizado, coerente e justo, além de dominar o conteúdo e explicá-lo bem. O professor e alguns alunos conseguiram identificar os mesmos pontos de melhora para a disciplina: inclusão de projetos e aplicação de mais exemplos práticos. Ao realizar este trabalho, notou-se a falta de feedback dos alunos para o professor e sugere-se essa medida como outra forma de melhorar a disciplina para os próximos oferecimentos.

Palavras-chave: Otimização de processos. Processos Industriais. Ensino de Engenharia.

1 INTRODUÇÃO

O projeto político pedagógico do curso de Engenharia Química da Escola Politécnica da USP (EPUSP) tem entre as propostas de habilidades e competências para os engenheiros formados “Saber bem usar as ferramentas básicas da informática” e “compromisso com a qualidade do que faz”. Nesse sentido, é fundamental o estudo da disciplina de Programação Inteira Mista aplicada à Otimização de Processos, já que a otimização de processos visa à qualidade tanto do processo quanto dos produtos finais, além de a disciplina contar com ferramentas de informática para resolução de problemas pelo software GAMS® (POLIGNU, 2014).

A disciplina em questão é de pós-graduação e aborda conhecimentos que trazem a oportunidade de otimização não apenas de processos da Engenharia Química, mas também de processos de outras engenharias, tais como Engenharia de Petróleo, Engenharia de Produção e Engenharia Civil.

Dada a necessidade e os benefícios do estudo da disciplina de Programação Inteira Mista aplicada à Otimização de Processos, o objetivo deste trabalho foi coletar dados, entrevistando o docente responsável pela disciplina e utilizando dois questionários eletrônicos, sobre a percepção de ex-alunos que a cursaram e também sobre a percepção do professor, a fim de compará-las. A finalidade desse procedimento foi identificar aspectos para a melhora da disciplina para, então, aplicá-los no seu próximo oferecimento.

2 MÉTODOS

2.1 Entrevista com o docente e análise do plano da disciplina

Foi analisado o plano da disciplina fornecido pelo docente e também solicitadas algumas informações em entrevistas, tais como: pré-requisitos, formas de avaliação, características das turmas, como o docente julga o andamento das aulas e quaisquer comentários que fossem julgados pertinentes à melhora da disciplina.

2.2 Questionário de avaliação da disciplina pelo aluno

Um questionário online, de múltipla escolha, foi proposto – de forma anônima – para setenta e nove alunos que cursaram a disciplina nos anos de 2016, 2017 e 2018. As perguntas foram:

- (a) – A disciplina foi coerente com a proposta pedagógica do seu curso de mestrado/doutorado?
- (b) – Os objetivos da disciplina foram apresentados pelo professor?
- (c) – Qual a sua opinião sobre a forma de avaliação da disciplina?
- (d) – Quantas horas semanais você se dedicou para a disciplina?
- (e) – Como foi o seu preparo para as aulas e a sua participação?
- (f) – Qual a sua opinião sobre o domínio do conteúdo e explicação pelo professor?

Todas as perguntas tinham uma opção para outras respostas, se nenhuma das opções representasse a opinião do estudante. Além das perguntas de múltipla escolha, ao final do questionário tinha um espaço para que os alunos apresentassem sugestões, elogios e críticas a respeito da disciplina e do professor.

2.3 Questionário de avaliação da disciplina pelo professor

Um questionário online, de múltipla escolha, foi proposto para o professor da disciplina a fim de comparar com a percepção dos alunos. Apenas a pergunta “Quantas horas semanais você se dedicou para a disciplina?” não pode ser comparada. Então, as perguntas foram:

- (a) – Os objetivos da disciplina são coerentes com os objetivos dos cursos de mestrado/doutorado dos alunos?
- (b) – Os objetivos da disciplina foram apresentados por mim para os alunos?
- (c) – Qual a sua opinião sobre a forma de avaliação da disciplina que você leciona?
- (d) – Qual a sua opinião sobre o preparo e participação dos alunos para as aulas?
- (e) – Como você se auto-avalia quanto ao domínio do conteúdo?

Analogamente, todas as perguntas tinham uma opção para outras respostas, se nenhuma das opções representasse a opinião do professor.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise do plano da disciplina

A disciplina se trata de métodos e ferramentas de otimização. Dessa forma, a partir dos seus conteúdos é possível fazer várias aplicações. Entretanto, não é possível colocar todas as aplicações possíveis no decorrer da disciplina. Então, por meio de listas de exercícios, são propostos, anualmente, problemas de Engenharia Civil, Engenharia Química, Engenharia de produção, Engenharia de Petróleo, Arquitetura e outros problemas básicos de matemática (como introdução) para ampliar as possibilidades de otimização.

Não são exigidos pré-requisitos para cursar a disciplina. Ela é oferecida no quarto quadrimestre da pós-graduação da EPUSP. É previsto o número de trinta alunos por turma.

O plano da disciplina contém os seguintes itens: identificação, relevância da disciplina, objetivos, conteúdo, bibliografia, estratégias de ensino e formas de avaliação.

3.2 Planejamento e metodologia de ensino

Toda a teoria é passada para os alunos por meio de aulas expositivas. Os conteúdos abordados são (JANUS, 2019):

“1) Introdução: Abordagem de programação matemática. Aplicações em processos químicos. Formulação. Graus de liberdade. Representações em árvore e rede. Conceitos básicos de otimização. Condições de Karush-Kuhn-Tucker;

2) Otimização contínua: Programação Linear (LP), algoritmo simplex. Programação não-linear (NLP), algoritmos de programação linear sucessiva (SLP), programação quadrática sucessiva (SQP) e gradiente reduzido generalizado (GRG). Estratégias para formulação de modelos;

3) Otimização discreta: Modelagem de decisões discretas usando variáveis binárias, lógica proposicional. Programação mista inteira e linear (MILP), problemas clássicos MILP, algoritmo branch & bound. Programação mista inteira e não-linear (MINLP), algoritmos de decomposição;

4) Aplicações em otimização de processos: Planejamento e programação de produção (planning and scheduling). Síntese de processos (process synthesis).”

Os conteúdos abordados na disciplina têm como base bibliográfica autores importantes das áreas de programação linear, não linear e otimização de processos químicos, tais como Bazaraa, Jarvis e Sherali (2005), Bazaraa, Sherali e Shetty (2006) e Edgar, Himmelblau e Lasdon (2001).

Não são previstas aulas dedicadas exclusivamente para a resolução de exercícios – o que foi sugerido pelos alunos no questionário. No entanto, o professor se mostra disponível para ajudar em sala o que for questionado pelos alunos. Além disso, são disponibilizadas listas de exercícios para fixação do conteúdo e o professor seleciona alguns para entrega como forma de avaliação, como será visto no próximo item.

3.3 Avaliação do desempenho dos alunos

A avaliação é feita com base em duas provas (individuais – em sala de aula) e três listas de exercícios (em trio – feitas fora do horário de aula). Cada prova tem o valor máximo de dez pontos e a média aritmética das duas é multiplicada por um fator de 70%. As listas de exercícios também têm valor máximo de dez pontos cada e a média aritmética das listas é multiplicada por um fator de 30%. Ao final, soma-se a parcela correspondente às notas das provas com a parcela das notas das listas (média ponderada), conforme Equações (1), (2) e (3):

$$M = 0,7.P + 0,3.L \quad (1)$$

$$P = (P_1 + P_2)/2 \quad (2)$$

$$L = (P_1 + P_2 + P_3)/3 \quad (3)$$

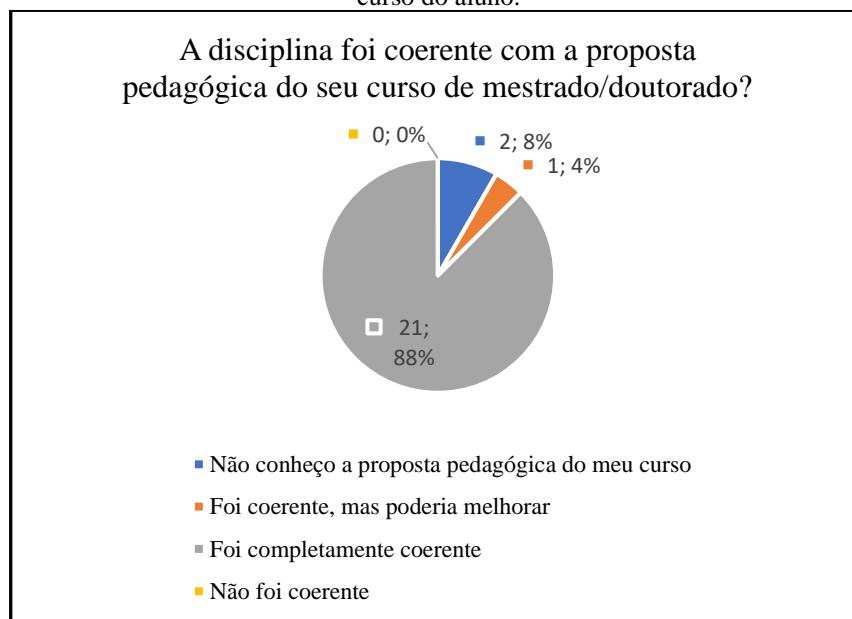
As Equações (1), (2) e (3) representam, respectivamente, a média geral, a média das provas e a média das listas.

3.4 Avaliação da disciplina realizada pelos alunos

Vinte e quatro alunos responderam o questionário *online*, sendo que, quatorze informaram que cursaram a disciplina no ano de 2018, três em 2017 e sete em 2016.

As Figuras de 1 a 6 correspondem às respostas dos alunos para cada pergunta feita sobre a disciplina. Sugestões dos alunos, para algum método aplicado na disciplina, serão apresentadas no item 4.

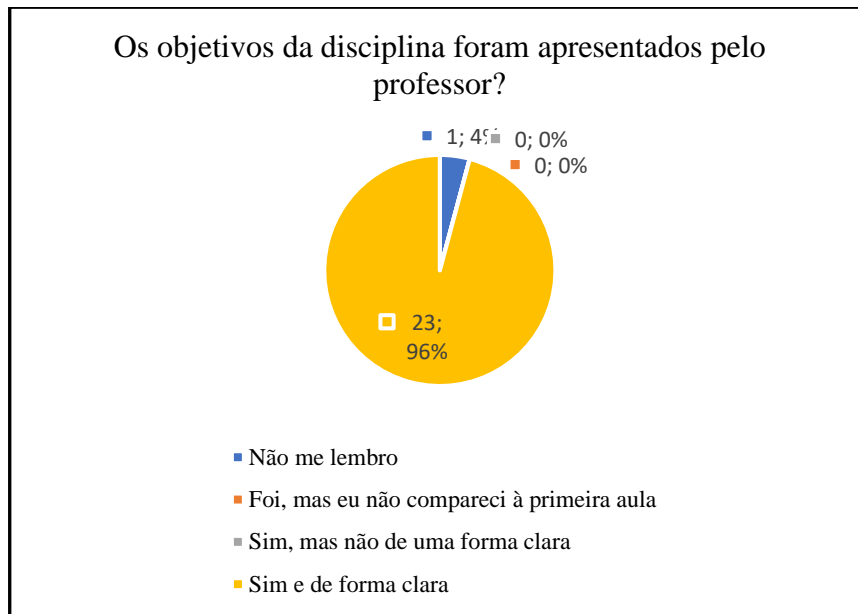
Figura 1 – Coerência da disciplina com a proposta pedagógica do curso do aluno.



Fonte: Autores (2019).

Ao observar a Figura 1, nota-se que 88% dos alunos afirmam que a disciplina foi completamente coerente com a proposta pedagógica do seu curso. Apenas três não fazem essa afirmação: dois que dizem não conhecer a proposta pedagógica do próprio curso e um diz que apesar da coerência, ainda é possível melhorar. Entretanto, este último não deu nenhum tipo de sugestão quanto a melhora que ele esperava. Ademais, nenhum aluno afirmou que não houve coerência da disciplina quanto à proposta pedagógica do seu curso.

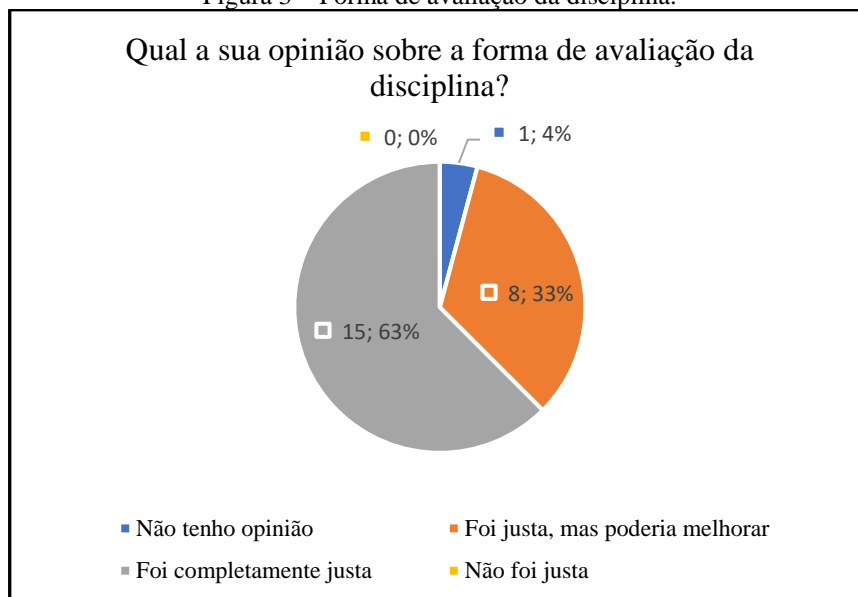
Figura 2 – Apresentação dos objetivos pelo professor.



Fonte: Autores (2019).

Pode ser concluído utilizando a Figura 2 que os alunos concordam que os objetivos da disciplina foram apresentados pelo professor. Apenas um aluno não confirmou essa informação, em vez disso, informou que não se lembrava.

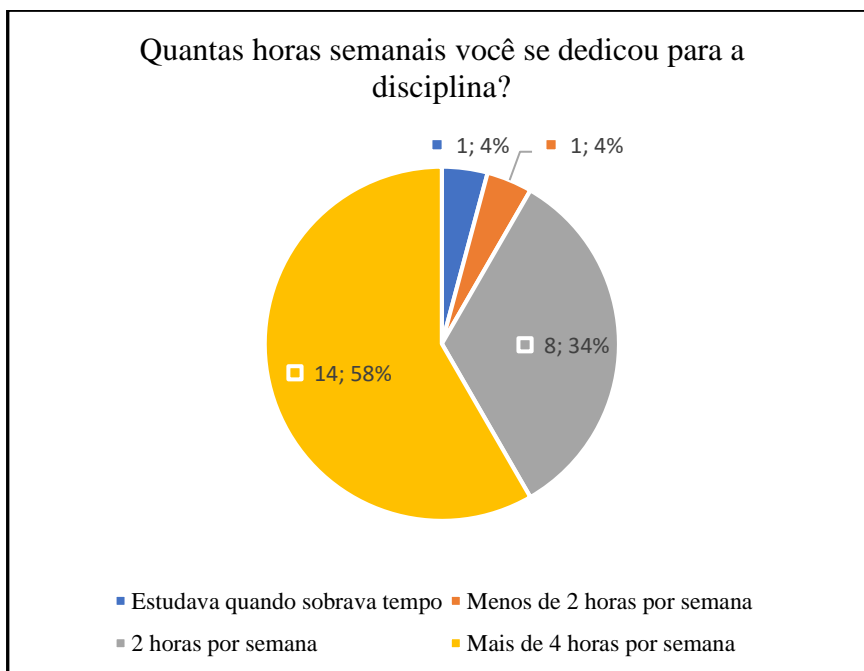
Figura 3 – Forma de avaliação da disciplina.



Fonte: Autor (2019).

A Figura 3 apresenta que a maioria dos alunos (63%) concorda que a avaliação foi completamente justa. Contudo, 33% concorda sugerindo melhora na forma de avaliação. Apenas um aluno diz que não tem opinião sobre a forma de avaliação e nenhum a considerou injusta. Isso implica que a maior parte dos alunos da disciplina está satisfeita com a forma de avaliação.

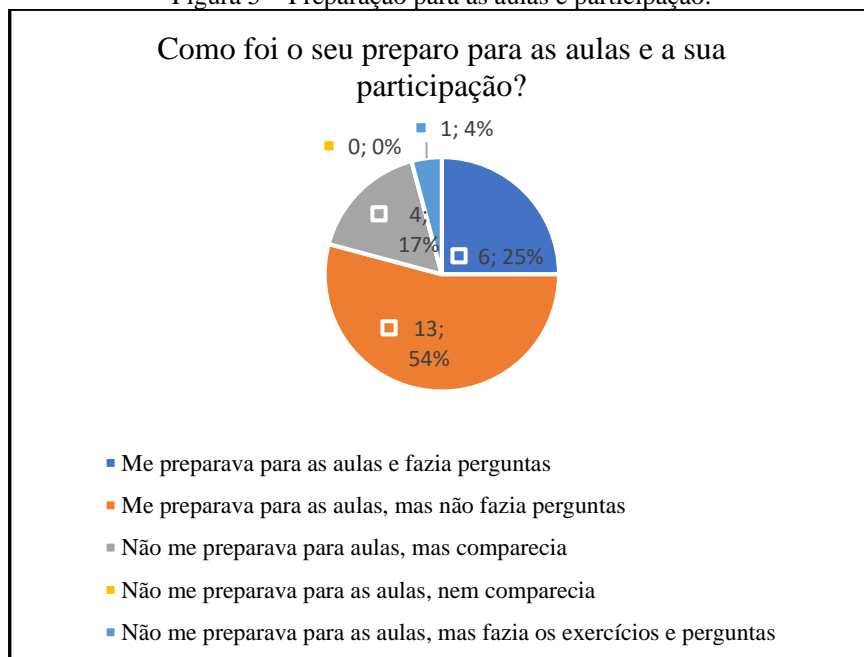
Figura 4 – Tempo de dedicação dos alunos para a disciplina.



Fonte: Autor (2019).

Observa-se na Figura 4 que a maioria dos alunos (58%) se dedicava mais de quatro horas semanais para a disciplina. Em segundo lugar, 34% dos alunos estudava duas horas por semana. Apenas um aluno estudava menos de duas horas por semana e outro que estudava quando sobrava tempo. Portanto, os dados mostram que a maioria dos alunos estudava regularmente para a disciplina. Isso implica que maus desempenhos não são devidos à dedicação, já que apenas um entrevistado estudava apenas quando sobrava tempo e a maioria se dedicava mais de quatro horas por semana. A proposta de carga horária da disciplina é de 3 horas semanais para aula teórica, 0 para aula prática e 7 horas semanais para estudos (JANUS, 2019). A análise dos dados revela que a maioria dos alunos (58%) está mais próxima da proposta da carga horária da disciplina.

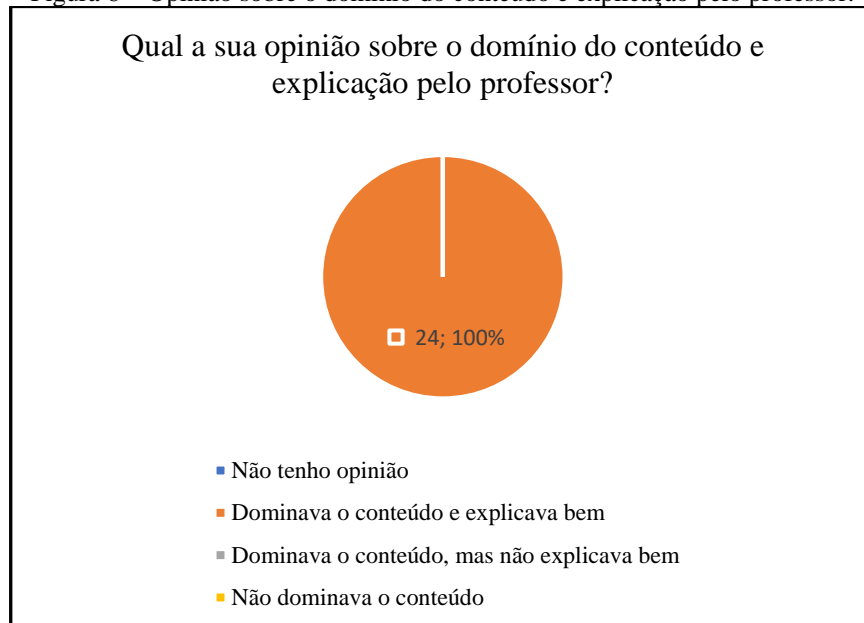
Figura 5 – Preparação para as aulas e participação.



Fonte: Autor (2019).

A Figura 6 mostra que a maioria dos alunos da disciplina se preparava, mas não faz perguntas durante as aulas. Esses alunos correspondem a 54% dos que responderam o questionário. Em segundo lugar, com 25%, o grupo de alunos que se preparava e fazia perguntas. Na terceira posição, com 17%, o grupo que não se preparava, mas comparecia. Nenhum aluno respondeu que não se preparava e nem comparecia. Mas um aluno adicionou na opção "outros" a resposta: não me preparava, mas fazia os exercícios e perguntas. Isso sugere que esse aluno não estudava especificamente para cada aula, mas de forma geral para a disciplina.

Figura 6 – Opinião sobre o domínio do conteúdo e explicação pelo professor.



Fonte: Autor (2019).

A Figura 6 mostra unanimidade quanto à opinião dos alunos que responderam o questionário sobre o professor dominar o conteúdo e explicar bem. Os dados sugerem que a aula do professor atende às expectativas dos alunos.

3.5 Avaliação da disciplina realizada pelo professor

A seguir, são apresentadas as respostas para as perguntas mostradas no item 2.3 (questionário do professor) ao mesmo tempo que elas são comparadas com as respostas que os alunos forneceram.

- O professor, assim como a maioria dos alunos, concordou que os objetivos da disciplina estão de acordo com os objetivos dos cursos dos alunos.
- Os alunos também concordaram com o professor quanto à exposição prévia dos objetivos da disciplina por ele.
- Apesar de o professor considerar justa a forma de avaliação da disciplina que leciona, 33% dos alunos afirmam que ela é justa, mas pode melhorar. De forma a minimizar essa divergência, serão apresentadas sugestões dos alunos no item 4.
- A resposta do professor para a preparação e participação dos alunos para as aulas está de acordo com as respostas deles. Ele respondeu que o perfil do aluno varia amplamente dentro da própria turma. Como visto na Figura 5, os alunos responderam de forma variada quanto ao preparo e participação e, mesmo assim, para essa pergunta, um aluno

ainda adicionou uma resposta diferente das opções fornecidas. Então, a percepção do professor quanto ao perfil dos alunos está coerente.

- (e) – Para o domínio e explicação do conteúdo, o professor atende às expectativas dos alunos. Essa foi a única pergunta em que todos os membros que participaram da pesquisa concordaram de forma unânime: o professor domina o conteúdo e explica bem a matéria. Esse fato diferenciado leva a supor que o professor além de atender às expectativas dos estudantes, também pode superá-las. Os elogios apresentados no item 4 ajudam a sustentar essa hipótese.

3.6 Desafios enfrentados pelo professor

Em entrevista, o docente disse que há variação na dedicação dos alunos para a disciplina. Em geral, isso acontece com alunos na condição de especiais, em que o aluno está matriculado em disciplinas isoladas, sem vínculo com o programa de pós-graduação. Em alguns anos, em que há grande quantidade de alunos especiais e com baixa dedicação, o docente define o ensino como desestimulante.

A disciplina não conta com o auxílio de aulas práticas. Por isso, o professor destaca a importância dessa modalidade de aula. Ele disse que uma disciplina semelhante, porém com algumas adaptações para a graduação, já foi oferecida para alunos do quinto ano do curso de graduação. Como a disciplina continha uma carga horária maior, era possível aplicar aulas práticas.

O professor revelou que consegue identificar plágio nas listas de exercícios que os alunos fazem fora do horário da aula. Ele pede no início de cada turma para evitar esse tipo de prática, mas, mesmo assim, acontece. A percepção se dá pela incoerência entre o desempenho nas listas e nas provas. O docente destaca que se a avaliação da lista fosse feita de forma individual, esse resultado poderia ser diferente. No entanto, com o grande número de alunos nas turmas, não é possível fazer avaliação das listas individualmente.

Há incompatibilidade do conteúdo com a carga horária. Por essa razão, a disciplina teve seu nome alterado no ano de 2018. O objetivo foi cobrir parte do conteúdo, que corresponde à programação inteira mista e oferecer a parte de programação não-linear em outro curso fornecido pela Engenharia de Produção. Dessa forma, foi possível adequar melhor a quantidade de conteúdo, melhorar a aprendizagem dos alunos e evitar com que os mesmos conteúdos fossem repetidos em disciplinas diferentes.

Foi destacado pelo professor que a disciplina tem várias aplicações. Contudo, as turmas têm um número grande de alunos e a disciplina tem carga horária pequena para fazer todas as aplicações. Por esse motivo, não é possível personalizar a disciplina. No entanto, problemas de Engenharia generalizados são aplicados para fixação dos conceitos.

4 SUGESTÕES DE MELHORIA, ELOGIOS E CRÍTICAS

Foi disponibilizado um espaço no final do questionário para que os alunos expusessem brevemente parte da experiência deles com a disciplina, incluindo sugestões de melhoria, elogios e críticas. Nesse sentido, a avaliação dos alunos pode ser considerada, de forma geral, positiva.

Como sugestões de melhoria, os alunos pediram: a inclusão de um projeto prático para aplicação dos conhecimentos de otimização, o fornecimento de aulas em inglês – dada a quantidade considerável de alunos estrangeiros na EPUSP –, uma aula específica para tirar dúvidas dos exercícios da lista e melhoria no método de correção. Apesar da sugestão de melhoria na correção, não houve uma solução proposta pelo mesmo aluno.

Como elogios, destacam-se a satisfação dos alunos pela organização da disciplina, pelo material escolhido, pela explicação do professor e – apesar de o professor ter destacado como desafio – pelas aplicações diversas de otimização.

Foram escolhidos dois comentários, que representam os outros de forma geral, para ilustrar o contentamento dos alunos com o professor e a disciplina:

- “Disciplina bastante organizada. O professor enviou todo o material antes do início das aulas, fato inédito em toda a minha pós-graduação. As listas de exercícios eram bastante interessantes e condizentes com o conteúdo aprendido”;

- “Uma disciplina bastante interessante, com intersecção com diversos ramos de conhecimento. Penso que seria conveniente colocar exemplos mais aplicados, embora entendo que a carga horária reduzida pode ser uma restrição. A experiência de aula com o Prof. Jorge foi muito boa. Aulas interessantes e o professor tem claro domínio do assunto”.

Esses dois comentários podem destacar dois pontos importantes: a organização do professor, quando o aluno demonstra satisfação pelo envio do material de estudo antes das aulas, e a preocupação do professor e dos alunos na aplicação dos conceitos de forma mais ampla, mas seguida da consciência desse aluno ao relacionar esse problema com a carga horária. Este último ponto destacado mostra a coerência na percepção aluno-professor das limitações da disciplina.

Por fim, destaca-se o comentário de um aluno que enfatizou a sensação de respeito que ele sentiu ao cursar a disciplina. Aparentemente, a percepção de respeito pelo aluno pode ser diferente pelo professor e os alunos também consideraram esse critério para avaliação.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A disciplina de Programação Inteira Mista aplicada à Otimização de Processos foi bem avaliada pelos alunos que já a cursaram. Os destaques vão para o professor da disciplina que foi definido pelos alunos como organizado, coerente e justo, além de dominar o conteúdo e explicá-lo bem. As principais sugestões dos alunos foram a inclusão de um projeto prático para aplicar os conceitos adquiridos na disciplina e exemplos de aplicações mais diversas do conteúdo. Alguns alunos sugeriram que a forma de avaliação pode ser melhorada, mas não houve nenhuma solução apresentada. É importante que sejam explorados objetivos afetivos dos estudantes, como comportamentos e habilidades além do conhecimento (objetivo cognitivo), porque foi observado que 17% deles não se preparavam para as aulas. Por isso, é importante que o docente estimule não apenas o conhecimento dos alunos, mas também seus comportamentos que favoreçam a aprendizagem, como, por exemplo, pedir participação dos alunos em todas as aulas. A fim de evitar grandes disparidades de conhecimentos entre os alunos, um nivelamento poderia ser feito durante as aulas iniciais. Para complementar os conhecimentos adquiridos, uma outra disciplina, a de Programação Não-Linear, é oferecida no curso de Engenharia de Produção da EPUSP. Os dados dos questionários mostraram coerência na percepção aluno-professor quanto à disciplina. Uma nova medida para melhorar o desempenho do aluno e relação aluno-professor é a implementação de um *feedback* para o professor, já que nenhuma avaliação é feita pelo estudante para essa disciplina.

Agradecimentos

Aos professores José Aquiles e Osvaldo Nakao pela orientação no trabalho, ao professor-orientador Jorge Gut pelo comprometimento com o trabalho, aos alunos que cursaram a disciplina pela ajuda em responder o questionário e às agências de fomento CAPES, CNPq e FAPESP.

REFERÊNCIAS

BAZARAA, M.S.; JARVIS, J.J.; SHERALI, H.D. **Linear programming and network flows**. 3ª ed. Hoboken: Wiley-Interscience. 2005.

BAZARAA, M.S.; SHERALI, H.D.; SHETTY, C.M. **Nonlinear programming: theory and algorithms**. 3ª ed. New York: Wiley. 2006.

EDGAR, T.F.; HIMMELBLAU, D.M., LASDON, L.S. **Optimization of chemical processes**. 2ª ed. New York: McGraw-Hill. 2001.

JANUS. **Programação Inteira Mista aplicada à Otimização de Processos**. Disponível em: <<https://uspdigital.usp.br/janus/componente/disciplinasOferecidasInicial.jsf?action=3&sgldis=PQI5884>>. Acesso em 06 maio 2019.

POLIGNU. **Projeto Político Pedagógico – Estrutura Curricular 3**. Disponível em <http://ec3.polignu.org/wp-content/uploads/2013/04/U_EngQuimCoop_1_PPP-EC3-2014-Engenharia-Qu%C3%ADmica.pdf>. Acesso em 03 maio 2019.

ANALYSIS OF THE COURSE MIXED INTEGER PROGRAMMING APPLIED TO PROCESS OPTIMIZATION (EPUSP)

Abstract: *A Chemical Engineer deals with knowledge of various industrial processes. In this context, it is important that this professional is aware of the methods and tools to improve processes and ensure the quality of the products they generate. It is therefore essential to find ways to optimize chemical processes. For this purpose, the Mixed Integer Programming applied to Process Optimization - offered by the Polytechnic School of USP - is adequate when dealing with a statistical tool for the use of GAMS® software. Thus, an analysis of the discipline was developed through students who have already studied it and through the teacher. The analysis considered two online questionnaires available one for the students and another for the teacher, using the Google Forms. An interview was also held with the teacher in order to clarify the experiences he has had in teaching. The answers of the student and teacher questionnaires were compared and it can be observed that the perceptions of both are in agreement. The students considered the teacher to be organized, coherent and fair, as well as mastering the content and explaining it well. The teacher and some students were able to identify the same points of improvement for the discipline: inclusion of projects and application of more practical examples. In doing this work, it was noticed the lack of feedback from the students to the teacher and this attitude is suggested as another way to improve the discipline for the next offerings.*

Key-words: *Process optimization. Industrial processes. Engineering Teaching.*