



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP
Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas
Colegiado do Curso de Engenharia de Produção



UFOP

Universidade Federal
de Ouro Preto

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E APLICADAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**UM MODELO PARA OTIMIZAÇÃO DA MATRÍCULA SEMESTRAL
DE CURSOS DE GRADUAÇÃO BASEADO EM
SEQUENCIAMENTO DE PROJETOS**

LETICIA FRANCISCHINI RODRIGUES

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

JOÃO MONLEVADE

Julho, 2015



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP
Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas
Colegiado do Curso de Engenharia de Produção



LETICIA FRANCISCHINI RODRIGUES

**UM MODELO PARA OTIMIZAÇÃO DA MATRÍCULA SEMESTRAL
DE CURSOS DE GRADUAÇÃO BASEADO EM
SEQUENCIAMENTO DE PROJETOS**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia de Produção do Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientadora: Profa. Dra. Mônica do Amaral

JOÃO MONLEVADE

Julho, 2015



ANEXO VIII – ATA DE DEFESA

Aos 23 dias do mês de junho de 2015, às 15.40 horas, na sala D304 deste instituto, foi realizada a defesa do Trabalho de Conclusão de Curso pelo (a) aluno (a) Petícia Francischini Rodri, sendo a comissão examinadora constituída pelos professores: ques Alexandre Xavier Martins e Thiago Augusto de Oliveira Silva

O (a) aluno (a) apresentou o trabalho intitulado: Um modelo para otimização da matrícula semestral de cursos de graduação. A comissão examinadora deliberou, pela:

- () Aprovação ação baseado em sequenciamento de projetos
(x) Aprovação com Ressalva - Prazo concedido para as correções: 09/07/2015
() Reprovação com Ressalva - Prazo para marcação da nova banca: _____
() Reprovação

do(a) aluno (a), com a nota 8,7. Na forma regulamentar e seguindo as determinações da resolução COEP12/2015 foi lavrada a presente ata que é assinada pelos membros da comissão examinadora e pelo (a) aluno(a).

João Monlevade, 23 de junho de 2015.

Luiz Carlos de Almeida
Professor(a) Orientador(a)

[Assinatura]
Convidado(a)

Thiago A. C. Silva
Convidado(a)

Petícia Francischini Redrigues
Aluno (a)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP
Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas
Colegiado do Curso de Engenharia de Produção



ANEXO VII - TERMO DE RESPONSABILIDADE

O texto do trabalho de conclusão de curso intitulado “Um Modelo para Otimização da Matrícula Semestral de Cursos de Graduação Baseado em Sequenciamento de Projetos” é de minha inteira responsabilidade. Declaro que não há utilização indevida de texto, material fotográfico ou qualquer outro material pertencente a terceiros sem o devido referenciamento ou consentimento dos referidos autores.

João Monlevade, 14 de julho de 2015

Leticia Franischini Rodrigues
Nome completo do aluno

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois sem Ele nada disso seria possível.

Aos meus pais, Arlete e Onivaldo, por sempre batalharem para que eu tivesse uma educação de qualidade e que investiram tantos anos para que a conclusão desse sonho fosse possível.

À minha avó Helena que do céu celebra essa minha conquista e que sempre me apoiou nos estudos e na decisão de morar fora para estudar em uma universidade pública.

Ao meu avô Ângelo que sempre foi exemplo e inspiração e que me mostrou que os estudos me possibilitariam realizar sonhos.

Às minhas tias, Cleiri e Myrthes, pelas orações e apoio desde antes de conseguir a vaga na universidade.

Aos meus irmãos, Lucas e Livia, que sempre estiveram ao meu lado e me apoiaram em todas as decisões dando conselhos e que também são fontes de inspiração e exemplo para minha vida.

Ao Paulo Vitor que esteve presente em grande parte da minha vida acadêmica e continua dando suporte, atenção e carinho sempre que preciso.

À Profa. Dra. Mônica do Amaral pela oportunidade de realizar esse trabalho e pelas diversas vezes em que realizou o papel de mãe durante minha passagem por João Monlevade. Sem todo o suporte concedido, com certeza, esse sonho não teria se tornado realidade.

Aos amigos de Pederneiras e João Monlevade por tornarem minha vida mais feliz.

A todos os professores que passaram pela minha trajetória, se empenhando com tanto afincamento e desprendimento para que eu pudesse alcançar vãos mais altos.

RESUMO

Este trabalho propõe a formulação de um modelo de otimização baseado em modelos de gestão de projetos para fazer o replanejamento semestral de matrículas em cursos de graduação. O objetivo é auxiliar os alunos no gerenciamento das matrículas semestrais, especificamente na escolha das melhores disciplinas a serem realizadas por cada aluno, a fim de minimizar o tempo restante para a conclusão do curso. O modelo proposto foi implementado utilizando conceitos de sequenciamento de atividades de projetos com restrição de recursos, onde se utilizou de formulações matemáticas para a sua construção. Para o teste da formulação proposta neste trabalho, foi utilizado o histórico da autora deste trabalho, onde gerou o problema a partir do quarto período de curso, onde a solução gerada pelo modelo foi comparada com uma resolução hipotética. Por fim, mostraram-se os resultados obtidos, comparando-se a quantidade de períodos necessária para a conclusão das disciplinas e o roteiro gerado.

Palavras-chave: Gerenciamento de Projetos; Restrição de Recursos; Pesquisa Operacional; Sequenciamento de Projeto; Modelagem Matemática.

ABSTRACT

This paper proposes the development of an optimization model based on project management templates to make the six-month redesign of enrollments in undergraduate courses. The goal is to assist students in managing semester enrollment, specifically in choosing the best subjects to be performed by each student in order to minimize the time remaining to complete the course. The proposed model was implemented using project activities sequencing concepts with resource constraints, which we used mathematical formulations for its construction. For the formulation of the test proposed in this paper, we used the history of the author of this work, which led to the complaint from the fourth period of the course, where the solution generated by the model was compared with a hypothetical resolution. Finally, we showed the results, comparing the number of periods required for completion of the disciplines and the generated script.

Keywords: *Project Management; Resource Constraint; Operational Research; Sequencing Projects; Mathematical Modeling.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:.....	17
Figura 2:.....	18
Figura 3:.....	20
Figura 4:.....	21
Figura 5:.....	22
Figura 6:.....	23

LISTA DE TABELAS

Tabela 1:	20
Tabela 2:	24
Tabela 3:	25
Tabela 4:	25
Tabela 5:	25
Tabela 6:	27
Tabela 7:	28
Tabela 8:	28
Tabela 9:	29

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
1.1. Objetivo Geral	9
1.2. Objetivos Específicos	10
1.3. Justificativa.....	10
1.4. Estrutura do Trabalho.....	11
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	12
2.1 Gestão de Projetos.....	12
2.2 Sequenciamento de Projetos.....	12
2.3 O Problema do Sequenciamento de Atividades e Restrição de Recursos... 14	
2.4 Modelo de Sequenciamento de Projetos com Restrição de Recursos.....	14
3. METODOLOGIA	18
4. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA.....	20
5. O MODELO PROPOSTO	25
6. RESULTADOS COMPUTACIONAIS	27
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	30
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31

1 INTRODUÇÃO

O curso de Engenharia de Produção do Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas (ICEA) da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) está dimensionado para 10 semestres, sendo que são ofertados 2 semestres por ano. Conforme a resolução CEPE Nº 3.454, de 24/11/2008, o semestre letivo tem 18 semanas e a duração da hora/aula é de 50 minutos. Sendo assim, a carga horária média é de 17 semanas por semestre, o que representa 20 créditos por semestre.

A resolução CEPE Nº 1.280, de 22/04/1998 e a resolução CEPE Nº 4.131, de 06/08/2010 trazem as diretrizes para os dois tipos de desligamento que existem na Universidade: o desligamento por jubramento e o desligamento simples. O aluno de graduação será desligado por jubramento no caso de não concluir o seu curso de graduação no prazo máximo fixado pelo atual Conselho Nacional de Educação (CNE) ou órgão que o suceda.

Já o desligamento simples ocorrerá:

- a) Quando a matrícula não for renovada em época prevista pelo Calendário Acadêmico;
- b) Quando o discente possuir desempenho no coeficiente de rendimento escolar inferior a três, por dois semestres consecutivos ou quatro semestres não consecutivos.
- c) Quando o aluno for reprovado em todas as disciplinas em que foi matriculado, por dois semestres consecutivos.

Para integralizar o curso, o aluno deverá cursar as disciplinas obrigatórias, cursar no mínimo 300 horas em disciplinas eletivas e cumprir 240 horas de Atividade Científico-Cultural, além da realização de estágio de no mínimo 160 horas e elaboração e defesa do trabalho de conclusão de curso. Dessa forma, o aluno que descumprir o prazo máximo fixado pelo CNE para a conclusão dessas atividades é automaticamente jubramado da Universidade.

A retenção dos alunos de Engenharia de Produção no ICEA é grande, muitas disciplinas têm alto índice de reprovação e a grade tem muitos pré-requisitos. Os alunos que estão atrasados no curso por terem reprovado em alguma disciplina enfrentam problemas para realizar o ajuste de matrícula e também para recuperar o tempo perdido e fazer um curso melhor.

O problema que os alunos vivem desde muito cedo no curso pode ser solucionado dentro da área de gestão de projetos que poderia auxiliar no planejamento individual do ajuste de matrícula. Muitas vezes, é difícil para um aluno nessa situação visualizar dentro da estrutura de pré-requisitos e das ofertas de horários das disciplinas, quais seriam as melhores opções e quais trariam melhor aproveitamento sem ter a orientação de um profissional.

Uma opção para orientação seria o aluno procurar o presidente do colegiado do curso para que juntos tracem um plano para o caso específico, o que nem sempre é possível, pois os alunos normalmente moram em outra cidade que não João Monlevade e no período de ajuste de matrícula não se encontram na cidade. Além de o processo ser muito demorado para ser feito manualmente.

Se os alunos conquistarem uma maturidade em relação ao gerenciamento das atividades que devem exercer durante a graduação, esse problema poderá ser minimizado. De acordo com o BSI (2000, apud Alencar, 2007), a gestão de projetos pode ser definida como “o planejamento, monitoramento e controle de todos os aspectos de um projeto e a motivação de todos aqueles envolvidos em alcançar os objetivos do projeto no tempo, custo, qualidade e performance desejada”. Diante disso, surgiu a ideia de usar um problema de gerenciamento de projetos para fazer um planejamento das disciplinas e outras atividades do curso, possibilitando uma ferramenta de uso mais direto pelo aluno. Porém, apesar de a ideia ser boa, existe uma grande necessidade de adaptação de um modelo geral de gerenciamento de projetos. Uma boa aproximação inicial foi o problema de sequenciamento de projetos com modos de operação e restrição de recursos.

1.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como principal objetivo desenvolver um modelo de otimização para auxiliar os alunos do curso de Engenharia de Produção do ICEA no gerenciamento das matrículas semestrais, minimizando, assim, o tempo necessário para a conclusão do seu curso de graduação.

1.2 Objetivos específicos

Sob uma perspectiva mais específica, o conteúdo do presente trabalho se propõe a abordar os seguintes aspectos:

- Estudar a estrutura do curso de engenharia de produção e as especificidades de matrículas inerentes ao ICEA;
- Comparar o problema estudado com o problema de sequenciamento de projetos com restrição de modo de operação e recursos de produção, identificando as suas diferenças essenciais;
- Desenvolver um modelo matemático que represente adequadamente o modelo a ser estudado;
- Aplicar o modelo a casos reais de alunos matriculados no curso de engenharia de produção do ICEA.

1.3 Justificativa

A importância de modelos como o desenvolvido nesse trabalho é reduzir o tempo máximo de execução das atividades, que no caso dessa pesquisa são as matérias do curso de Engenharia de Produção do ICEA, e evitar que ocorram atrasos, respeitando as restrições (pré-requisitos).

O modelo nunca foi aplicado ao objeto estudado, que é o planejamento de matrícula, o que tornou uma revisão da literatura muito enxuta, pois não existem referências que abordam esse tema especificamente.

Esse é um problema de realidade prática tanto para alunos quanto para coordenadores de curso e presidentes de colegiado.

Dentro das diretrizes do Ministério da Educação (MEC) existe a de implementar melhorias para alunos conquistarem o grau no tempo determinado com qualidade adequada. Sendo assim, o modelo proposto nesse trabalho torna-se uma inovação na implantação de melhorias para o curso de engenharia de produção do ICEA.

1.4 Estrutura do Trabalho

Este trabalho traz uma fundamentação teórica baseada nos conceitos de gestão de projetos e sequenciamento de projetos com o objetivo de tornar o entendimento do problema pesquisado mais simples. Na primeira parte são apresentados conceitos de projetos e gestão de projetos na visão de autores e guias referências no assunto. Após isso, o sequenciamento de projetos é apresentado, mostrando que quando formada uma seqüência de atividades, onde uma depende da realização da outra, se atrasadas, atrasam a conclusão de todo o projeto. Dessa forma um problema de sequenciamento de projetos com restrição de recursos, bem como um modelo ilustram o problema a ser tratado neste estudo.

Após este capítulo, a metodologia de modelagem e simulação classificada como pesquisa empírica normativa quantitativa é explicada.

Em um quarto momento é demonstrando cada detalhe necessário para a elaboração de um modelo matemático para conquistar o objetivo de auxiliar os alunos no gerenciamento das matrículas semestrais e, dessa forma, evitar que ocorram atrasos durante a graduação. Assim um modelo é proposto.

Por fim, foram realizadas algumas análises para conseguir chegar a um resultado satisfatório que é apresentado na quinta parte dessa dissertação. Foram observados alguns pontos de melhoria e sugestões para trabalhos futuros, porém o objetivo central do trabalho foi atendido.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para proporcionar uma melhor compreensão do tema e auxiliar na construção de uma análise do problema será apresentado, neste estudo, este capítulo que apresenta os conceitos e a literatura inerentes à gestão de projetos, como problemas e modelos de gerenciamento.

2.1 Gestão de Projetos

Para a compreensão sobre o que constitui a gestão de projetos, é importante que se saiba e entenda o que vem a ser um projeto. Na visão de Slack (2009), um projeto é um conjunto de atividades que tem ponto inicial e estado final definidos, persegue uma meta definida e usa um conjunto definido de recursos. Já em Drexl, Salewski e Schirmer (1997), os projetos na área da otimização da produção são definidos como a reunião de um conjunto de atividades que possuem dados a seu respeito, como quantidade utilizada de recursos, duração, modo de execução, ordens de precedência, etc. Por fim, o PMBOK (2004) complementa o conceito de projetos acrescentando que é também um conjunto de processos inter-relacionados, realizados para obter um conjunto pré-especificado de produtos, resultados ou serviços.

Slack (2009) ainda afirma que os projetos possuem algum grau de complexidade e que o relacionamento entre todas as tarefas diferentes realizadas para atingir os objetivos do projeto pode ser complexo, especialmente quando o número das tarefas separadas no projeto é grande. Todos os projetos devem ser gerenciados de forma a apresentarem os resultados esperados dentro do prazo previsto. Dessa forma, a PMI (*Project Management Institute*) diz que o gerenciamento de projetos pode ser entendido como a aplicação de uma série de conhecimentos, habilidades, ferramentas e técnicas para a execução de projetos a fim de atender aos seus requisitos (PMBOK, 2008).

2.2 Sequenciamento de Projetos

Quando se trata de gerenciamento de projetos, diversos modelos são apresentados com a finalidade de dar suporte e seqüenciar a produção. Em Drexl,

Salewski e Schirmer (1997), o problema de sequenciamento de atividades respeitando a alocação de recursos e as relações de precedências entre as mesmas é tratado como de fundamental solução para um planejamento de projeto com sucesso.

A fim de garantir que o tempo de execução do projeto seja o menor possível, modelos como o MRCPSP (*multi-mode resource constrained Project scheduling problem*), proposto por Drexl, Salewski e Schirmer (1997), realizam interações matemáticas e analisam relações de precedências e quantidades disponíveis de todos os recursos no tempo atual, identificando em qual dos modos de execução determinada atividade irá ser concluída a fim de garantir que o tempo de realização total do projeto seja o menor possível.

Quando se trata do sequenciamento de projetos, um conceito muito importante é o do caminho crítico, que é formado por uma seqüência de atividades ou tarefas que, se atrasadas, atrasam a conclusão de todo o projeto. Tal conceito está intimamente relacionado aos conceitos da tecnologia PERT/CPM. Segundo Tubino, Quezado & Cardoso (1999), PERT (*program evaluation and review technique*) e CPM (*critical path method*) são dois métodos que foram desenvolvidos para o planejamento e controle da produção.

Enquanto o primeiro teve sua origem trabalhando com tempos probabilísticos, ou seja, não havendo estimativas exatas de duração das atividades a serem realizadas, o segundo surgiu como uma técnica de programação trabalhando com tempos determinísticos, ou seja, possuindo, com certeza, as durações das atividades.

À medida que o planejamento e controle da produção se desenvolveu, ficou claro que esses métodos eram complementares, assim a expressão PERT/CPM passou a ser adotada, considerando esses dois métodos complementares nessa área da produção.

Tubino, Quezado& Cardoso (1999) definem o método PERT/CPM como:

um conjunto de processos e técnicas para planejamento, programação e controle de um empreendimento ou operação ou projeto, tendo como característica fundamental a indicação, dentre as várias seqüências operacionais, daquela que possui duração máxima, além de permitir a indicação de graus de prioridade relativos, demonstrando distribuição de recursos e interdependência entre as várias ações necessárias ao desenvolvimento do projeto.

Para Goldberg e Luna (2005), a técnica PERT foi desenvolvida para o controle e planejamento de projetos. Ela utiliza os conceitos de grafos (redes) para planejar e visualizar a coordenação das atividades de um projeto.

Esse modelo é extremamente útil para a solução de problemas que possuem um número muito grande de atividades que ocorrem paralelamente e com duração variável e, além disso, apresentam pontos de concorrência e interdependência.

2.3 O Problema de Sequenciamento de Atividades e Restrição de Recursos

O problema de seqüenciamento em projetos com restrição de recursos - PSPRR - (*resource constrained Project scheduling problem* - RCPSP), segundo Brucker et al. (1999, apud Vieira, 2006) é basicamente constituído por um conjunto de n atividades ($i = 1, 2, \dots, n$) e r recursos renováveis. Cada tipo k de recurso está disponível em uma quantidade constante de R_k unidades. A atividade i é executada em p_i unidades de tempo sem ser interrompida, ou seja, a restrição de não preempção deve ser respeitada. Cada atividade i necessita de uma quantidade constante r_{ik} de unidades do recurso k para ser executada. Os valores de R_k , p_i e r_{ik} são inteiros não negativos. As relações de precedências são definidas entre as atividades. O objetivo é determinar a data de início S_i para cada atividade $i = 1, \dots, n$ do projeto tal que a quantidade de cada tipo de recurso utilizada, durante um determinado período de execução, seja menor ou igual à quantidade total disponível desses recursos; todas as relações de precedência sejam satisfeitas e o *makespan* $C_{\max} = \max_{i=1}^n C_i$ seja minimizado, onde $C_i = S_i + p_i$ é a data de conclusão da atividade i .

2.4 Modelo de Sequenciamento de Projetos com Restrição de Recursos

O exemplo de modelo proposto a seguir retirado de Vieira, Carvalho e Pinto (2007, p.4-5) considera o tempo de execução da atividade i como sendo uma variável contínua, ou seja, podendo variar em função da quantidade de recurso alocada. Essa formulação consiste na determinação dos melhores tempos de execução das atividades conforme a alocação dos recursos disponíveis.

“Sejam:

- I. $N = \{1, \dots, n\}$: conjunto de todas as atividades do projeto;
- II. $s = 0$ e $t = n + 1$: duas atividades fictícias que representam, respectivamente, o início e o término de todas as atividades do projeto, tal que, $P_s = P_t = 0$;
- III. $R = \{1, \dots, m\}$: conjunto dos recursos renováveis;
- IV. $p: N \rightarrow IR_+$: função para representar o tempo de execução P_i de cada atividade do projeto. O valor de P_i é constante para as atividades i que necessitam de quantidades fixas de recursos para serem executadas. Para as atividades i que não tem essas quantidades de recursos fixadas, previamente ao projeto, P_i é calculado em função das quantidades de recursos utilizadas para a execução da atividade i , ou seja,

$$P_i \geq P_{ik} \forall k \in R, (1)$$

onde, P_{ik} é o tempo de execução da atividade i definido pela utilização de uma determinada quantidade de recurso k . O valor de P_{ik} pode ser calculado pela expressão:

$$P_{ik} = \bar{P}_{ik} - a_{ik}x_{ik}, (2)$$

com:

- \bar{P}_{ik} : maior tempo de execução da atividade i , determinado quando é alocada a menor quantidade possível, \underline{q}_{ik} , do recurso k para executá-la;
- $a_{ik} \geq 0$: coeficiente de diminuição do tempo de execução da atividade i , quando uma unidade do recurso k é alocada,

$$a_{ik} = \frac{\bar{P}_{ik} - \underline{P}_{ik}}{\bar{q}_{ik} - \underline{q}_{ik}}, (3)$$

onde,

- \underline{P}_{ik} : menor tempo de execução da atividade i , determinado quando é alocada a maior quantidade possível, \bar{q}_{ik} , do recurso k para executá-la;
- x_{ik} : quantidade de recurso k que será alocada para acelerar a execução da atividade i ;

- V. R_k : quantidade máxima disponível do recurso $k \in R$;

- VI. l_{ik} : quantidade total máxima de recurso k que se pode alocar para acelerar a execução da atividade i , ou seja:

$$l_{ik} = \frac{\bar{P}_{ik} - P_{ik}}{\alpha_{ik}}, \quad (4)$$

A quantidade total de recurso k utilizada na execução de uma atividade i é dada por $\underline{q}_{ik} + x_{ik}$. Observa-se que:

- se $x_{ik} = l_{ik}$, então essa quantidade total de recurso é igual à maior quantidade possível, \bar{q}_{ik} ;
- se $x_{ik} = 0$, então essa quantidade total de recurso é igual à menor quantidade possível, \underline{q}_{ik} .

- VII. $E = \{(i,j) \in N \times N\}$: conjunto de pares de atividades para representar as relações de precedência entre as atividades do projeto;

- VIII. $M1$ e $M2$: duas constantes de valores suficientemente grandes.

As variáveis de decisão são definidas como:

- I. t_i : data de início da atividade i ;
- II. x_{ik} : quantidade de recurso k que será alocada para acelerar a execução da atividade i ;
- III. P_i : tempo de execução da atividade i ;
- IV. $y_{ij} \in \{0,1\}$ associadas a cada par de atividades, tais que:

$$y_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se a atividade } i \text{ precede a atividade } j; \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases}$$

- V. f_{ijk} : variável de fluxo que indica a quantidade do recurso k que foi utilizada na execução da atividade i e que será transferida para ser utilizada na execução da atividade j

O modelo fica como mostra a Figura 1:

$$\begin{aligned}
\min C_{\max} & & & (5) \\
\text{sujeito a} & & & \\
y_{ij} = 1 & & \forall (i, j) \in E & (6) \\
P_i \geq \bar{p}_{ik} - a_{ik}x_{ik} & & \forall i \in N, \forall k \in R & (7) \\
t_j - t_i - P_i - M_1y_{ij} \geq -M_1 & & \forall i \in N \cup \{s\}, \forall j \in N \cup \{t\} & (8) \\
f_{ijk} - M_2y_{ij} \leq 0 & & \forall i \in N \cup \{s\}, \forall j \in N \cup \{t\}, \forall k \in R & (9) \\
\sum_{j \in N \cup \{t\}} f_{ijk} = R_k & & \forall k \in R & (10) \\
\sum_{j \in N \cup \{t\}} f_{ijk} = \underline{q}_{ik} + x_{ik} & & \forall i \in N, \forall k \in R & (11) \\
\sum_{i \in N \cup \{s\}} f_{ijk} = \underline{q}_{jk} + x_{jk} & & \forall j \in N, \forall k \in R & (12) \\
\sum_{i \in N \cup \{s\}} f_{itk} = R_k & & \forall k \in R & (13) \\
t_i \geq 0 & & \forall i \in N & (14) \\
0 \leq x_{ik} \leq I_{ik} & & \forall i \in N, \forall k \in R & (15) \\
f_{ijk} \geq 0 & & \forall i \in N \cup \{s\}, \forall j \in N \cup \{t\}, \forall k \in R & (16) \\
y_{ij} \in \{0,1\} & & \forall (i, j) \in E & (17)
\end{aligned}$$

Figura 1: Modelo de Sequenciamento de Projetos com Restrição de Recursos

Fonte: Vieira, Carvalho e Pinto (2007)

A função objetivo (5) indica a minimização da data de finalização do projeto. As restrições (6) garantem que as relações de precedência entre duas atividades i e j do projeto sejam respeitadas. As restrições (7) definem o tempo de execução de cada atividade. As restrições (8) são restrições disjuntivas que impedem que duas atividades relacionadas sejam executadas simultaneamente. As restrições (9) descrevem a relação entre as variáveis f_{ijk} e as variáveis y_{ij} , que implica em se $y_{ij} = 0$, $f_{ijk} = 0$, $k \in R$. As restrições (10) garantem que a quantidade total de recurso que sai do nó fonte, atividade s , é igual à quantidade total disponível desse recurso. As restrições (11) e (12) expressam que a quantidade de recurso que entra em um nó, atividade, deve ser igual a quantidade de recurso que sai, ou seja, é a propriedade de conservação do fluxo. As restrições (13) garantem que a quantidade total de recurso que chega no nó sumidouro, atividade t , é igual à quantidade total disponível desse recurso. As restrições (14), (15), (16) e (17) definem os domínios das variáveis”.

3 METODOLOGIA

Para encontrar as respostas das questões pertinentes a essa pesquisa, utilizou-se a metodologia modelagem e simulação classificada como pesquisa empírica normativa quantitativa.

Morabito e Pureza (2012), dizem que em uma pesquisa empírica, é primordial se assegurar a adesão entre as observações e as ações do sistema real e o modelo elaborado para representá-lo. Assim, é preciso testar em processos reais a validade de modelos científicos obtidos em pesquisas teóricas, ou seja, a teoria e a prática devem ser consideradas em conjunto, não de forma isolada.

De acordo com Bertrand e Fransoo (2002), o protocolo de pesquisa que descreve as fases de desenvolvimento de uma pesquisa apoiada em modelagem e simulação, além das principais interações entre elas, pode ser sintetizado pela Figura 2.

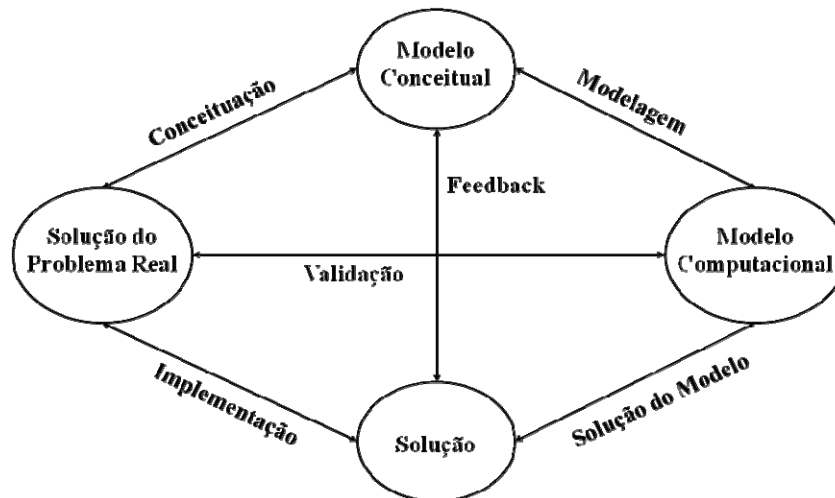


Figura 2 – Fases de uma pesquisa apoiada em modelagem e simulação

Fonte: Mitroff et al. (1974) apud Bertrand e Fransoo (2002)

Quando se trata de uma pesquisa empírica, há recomendações adicionais para o desenvolvimento de cada uma dessas fases (BERTRAND e FRANSOO, 2002):

- **Conceituação:** Além da definição do problema, nessa etapa é preciso identificar premissas do sistema real que se adequem a uma área de pesquisa ou modelo conceitual já descrito na literatura científica.

- **Modelagem:** Nessa etapa, deve-se desenvolver um modelo conceitual e implementá-lo computacionalmente, seguindo-se à realização de testes preliminares que visam à verificação e validação da adequação do modelo ao sistema real, de acordo com uma margem de confiança estabelecida. Nos casos em que a pesquisa é empírica, essa etapa contempla a escolha de um modelo específico e um tipo de decisão associada, de forma que as premissas estabelecidas na etapa anterior sejam respeitadas. A partir daí, são estabelecidas a forma de coleta e análise dos dados, além das variáveis que serão estudadas e os critérios de avaliação dos resultados a serem obtidos.
- **Solução:** É a fase em que ocorre a experimentação do modelo. São realizados testes computacionais com os dados reais, além do estudo de possíveis cenários. Nos cenários alternativos, alguns parâmetros podem ser variados, a fim de se avaliar efeitos relacionados à análise de sensibilidade ou a mudanças de processos ou políticas de gestão do sistema real.
- **Implementação:** Consiste na implementação dos resultados obtidos na fase de solução no sistema real estudado, a fim de validar a eficácia dos resultados teóricos obtidos. A implementação também pode ocorrer em fases, isto é, um subsistema piloto é escolhido para a fase de implementação, e assim que seus resultados sejam satisfatórios, a pesquisa é implementada em todo o processo.

4 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

No caso estudado, pode-se estipular a realização do curso de Engenharia de Produção como um projeto, como pode ser visto na Figura 3, pois este tem um início que é definido quando o aluno é aprovado no vestibular e inicia seus estudos; um final definido, de no máximo quinze períodos, quando o aluno conclui todas as disciplinas; persegue uma meta que é o grau em Engenharia de Produção e utiliza um conjunto definido de recursos, que neste caso, é necessário à realização das disciplinas do curso.

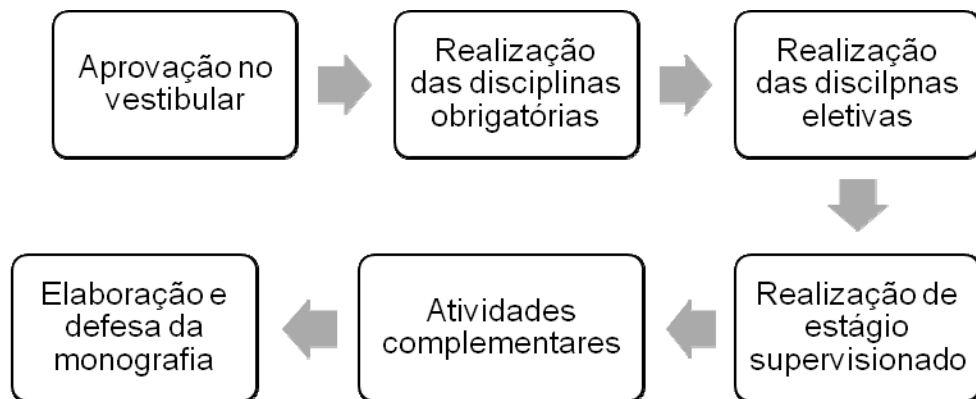


Figura 3: Principais Grupos de Atividades do Curso de Engenharia de Produção

Fonte: Elaborado pela autora

Para a realização do curso de Engenharia de Produção, se faz necessário cumprir 56 tarefas, previstas para dez períodos ou cinco anos de curso, o que evidencia a complexidade do projeto. A Tabela 1 mostra os tipos de tarefas e as suas quantidades recomendadas.

Tabela 1: Tipos e quantidades de tarefas do curso de Engenharia de Produção

TAREFAS	QUANTIDADE
Disciplinas Obrigatórias	48
Disciplinas Eletivas	5
Estágios	1
Monografia em Engenharia de Produção	1
Atividades Complementares	-
TOTAL	55

Fonte: Elaborado pela Autora

A Figura 4 ilustra todas as atividades e apresenta os predecessores para a realização do projeto objeto de estudo desse trabalho.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO – PROGRAD



ENGENHARIA DE PRODUÇÃO – Currículo 2 – Matriz Curricular 2015/1
Campus João Monlevade – Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas (ICEA)

CÓDIGO	DISCIPLINAS OBRIGATORIAS	PRÉ-REQUISITO	CHS horas	CHS h/a	AULAS		PER
					T	P	
CEA001	Geometria Analítica e Álgebra Linear	-	60	72	4	0	1º
CEA030	Programação de Computadores I	-	60	72	2	2	1º
CEA031	Química Geral	-	60	72	2	2	1º
CEA160	Cálculo Diferencial e Integral I	-	60	72	4	0	1º
ENP100	Introdução à Engenharia de Produção	-	30	36	2	0	1º
ENP101	Introdução à Metodologia da Pesquisa	-	30	36	2	0	1º
			300	360			
CEA003	Física I	CEA160	60	72	3	1	2º
CEA301	Cálculo Diferencial e Integral II	CEA160/001	60	72	4	0	2º
CEA428	Algoritmos e Estrutura de Dados I	CEA030	60	72	2	2	2º
ENP004	Expressão Gráfica	-	60	72	2	2	2º
ENP152	Ética e Responsabilidade Socioambiental	-	60	72	4	0	2º
			300	360			
CEA006	Cálculo Diferencial e Integral III	CEA160/301	60	72	4	0	3º
CEA007	Física II	CEA003/301	60	72	3	1	3º
CEA302	Introdução às Equações Diferenciais e Ordinárias	CEA301	60	72	4	0	3º
CEA012	Probabilidade	CEA160	60	72	4	0	3º
ENP151	Ciência, Tecnologia e Sociedade	-	60	72	4	0	3º
			300	360			
CEA013	Física III	CEA006/007	60	72	2	2	4º
CEA020	Estatística I	CEA012	60	72	4	0	4º
CEA404	Cálculo Numérico	CEA007/030/301/302	60	72	3	1	4º
ENP005	Ergonomia	750 horas	60	72	4	0	4º
ENP153	Programação Linear	CEA001/030/428	60	72	3	1	4º
			300	360			
ENP014	Organização do Trabalho	ENP005	60	72	4	0	5º
ENP015	Microeconomia	CEA006/020	60	72	4	0	5º
ENP017	Teoria das Organizações	ENP005	60	72	4	0	5º
ENP157	Estatística II	CEA020/012	60	72	3	1	5º
ENP160	Otimização Combinatória	ENP153	60	72	3	1	5º
			300	360			
CEA700	Princípios de Ciências dos Materiais	CEA031	60	72	2	2	6º
ENP019	Psicologia do Trabalho	ENP014	60	72	4	0	6º
ENP022	Gestão da Qualidade	CEA020	60	72	4	0	6º
ENP154	Planejamento Estratégico e Mercadológico	ENP015/1050 horas	60	72	4	0	6º
ENP155	Custos Industriais	1200 horas	60	72	4	0	6º
			300	360			
ATV025	Estágio Supervisionado	1800 horas	160	160	0	11	7º
ENP023	Engenharia Econômica	CEA012/020/ENP015/155	60	72	4	0	7º
ENP025	Gestão do Conhecimento	ENP017/ENP154	60	72	4	0	7º
ENP122	Planejamento e Controle de Produção I	1200 horas	60	72	4	0	7º
ENP141	Controle Estatístico de Qualidade	ENP022	60	72	4	0	7º
ENP701	Engenharia de Processos Mecânicos	CEA700	60	72	4	0	7º
			460	520			
ENP119	Logística	1200 horas	60	72	4	0	8º
ENP123	Planejamento e Controle de Produção II	ENP122	60	72	4	0	8º
ENP159	Sistema de Desenvolvimento de Produto	ENP004/023/157	60	72	3	1	8º
ENP534	Gestão de Projetos	ENP017/154/122	60	72	4	0	8º
	Eletiva I	-	60	72	4	0	8º
			300	360			
ATV 029	Elaboração de Projeto de Monografia	2100 horas	30	36	2	0	9º
CEA009	Fundamentos de Sistemas de Informação	2100 horas	60	72	4	0	9º
ENP028	Gestão da Cadeia de Suprimentos	ENP119	60	72	4	0	9º
ENP158	Modelagem de Sistemas Produtivos e Logísticos I	CEA020/ ENP119/122/160	60	72	3	1	9º
	Eletiva II	-	60	72	4	0	9º
	Eletiva III	-	60	72	4	0	9º
			330	396			
ATV030	Monografia	ATV029	180	180	0	12	10º
ENP029	Gestão Ambiental	2100 horas	60	72	4	0	10º
ENP156	Gestão de Serviços	ENP014/017/154	60	72	4	0	10º
ENP161	Simulação a Eventos Discretos	CEA428/012/ENP160	60	72	3	1	10º
	Eletiva IV	-	60	72	4	0	10º
	Eletiva V	-	60	72	4	0	10º
			480	540			

Última alteração curricular: Res. Abril/2013.

PROGRAD – Centro Convergência – Campus Morro do Cruzeiro – Rua Paulo Magalhães Gomes, s/n – 35400-000 – Ouro Preto – MG – Brasil
Homepage: <http://www.ufop.br> – E-mail: prograd@ufop.br – Fone (031) 3559-1323 – Fax (031) 3559-1352

Figura 4: Matriz Curricular do Curso de Engenharia de Produção

Fonte: Universidade Federal de Ouro Preto

Essa figura pode ser representada por um gráfico de setas como mostra a Figura 5.

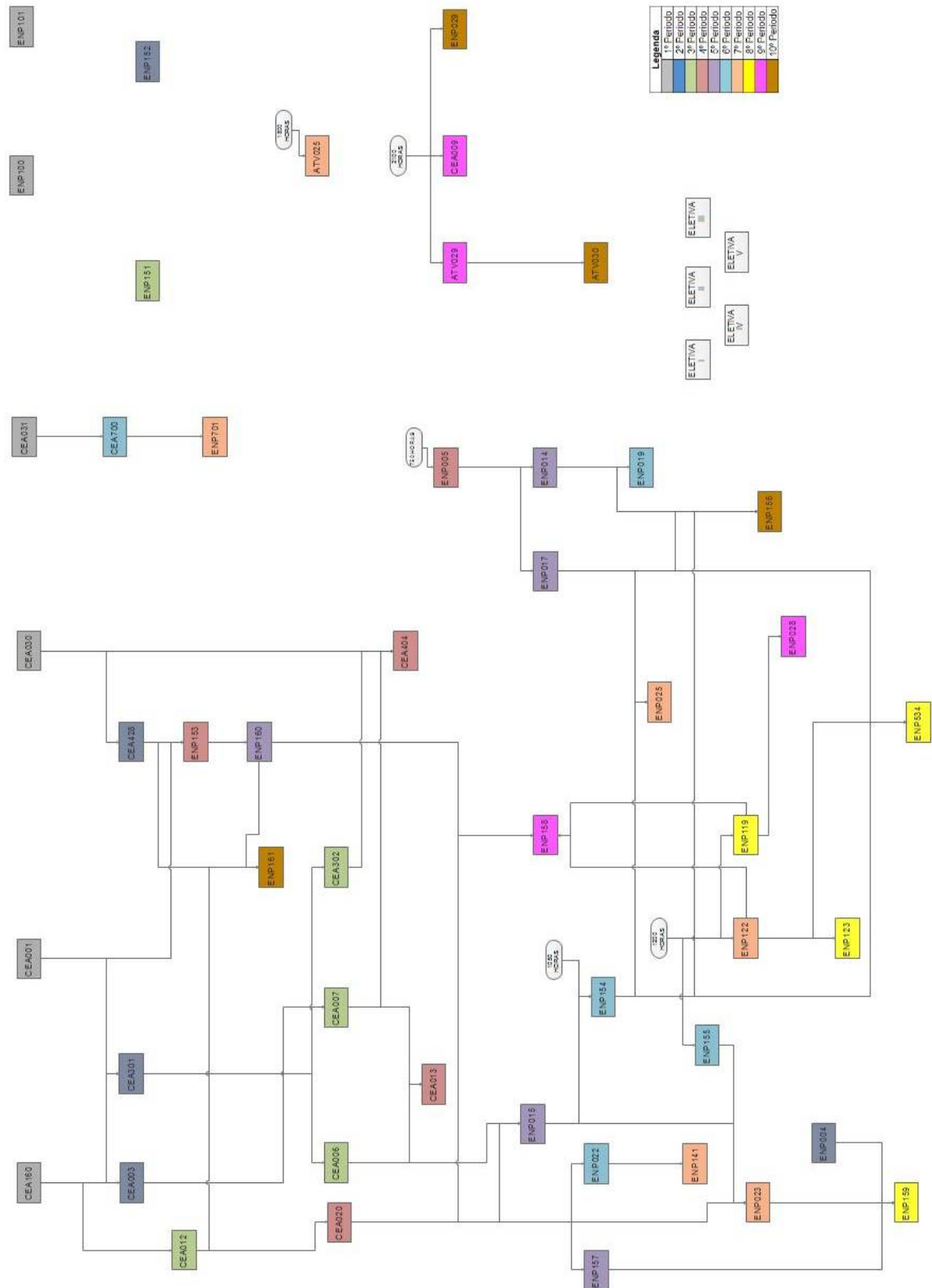


Figura 5: Gráfico de Setas da Matriz Curricular do Curso de Engenharia de Produção

Fonte: Elaborado pela Autora

Nessa rede, cada atividade é simbolizada por um nó contendo o código da disciplina. As setas representam as restrições de precedência, ou seja, os pré-requisitos. Os semestres em que cada disciplina está alocada estão representados pelas cores estipuladas na legenda da figura. Dessa forma é possível visualizar quais disciplinas são dependentes. O aluno poderá cursar as disciplinas a qualquer momento, desde que tenha realizado o pré-requisito.

Segundo a Associação Brasileira de Engenharia de Produção (Abepro), as subáreas do conhecimento relacionadas à Engenharia de Produção estão listadas na Figura 6.

Engenharia de Operações e Processos da Produção
Logística
Pesquisa Operacional
Engenharia da Qualidade
Engenharia do Produto
Engenharia Organizacional
Engenharia Econômica
Engenharia do Trabalho
Engenharia da Sustentabilidade
Educação em Engenharia de Produção

Figura 6: Subáreas do Conhecimento Relacionadas à Engenharia de Produção

Fonte: Elaborado pela Autora

Segundo as Diretrizes Curriculares Nacionais dos Cursos de Engenharia publicada pelo Ministério da Educação (MEC), todo curso de Engenharia, independente de sua modalidade, deve possuir em seu currículo um núcleo de conteúdos básicos, um núcleo de conteúdos profissionalizantes e um núcleo de conteúdos específicos que caracterizem a modalidade.

Portanto, para contemplar as áreas da engenharia de produção listadas pela Abepro e estar de acordo com as diretrizes do MEC, o curso no ICEA é estruturado como mostrado na Tabela 2.

Tabela 2: Estrutura do Curso de Engenharia de Produção do ICEA

NÚCLEO BÁSICO	NÚCLEO PROFISSIONALIZANTE	NÚCLEO ESPECÍFICO
CEA001	ENP101	ENP025
CEA030	ENP005	ENP119
CEA031	ENP153	ENP123
CEA160	ENP157	ENP159
ENP100	ENP160	ENP534
CEA003	ENP014	ATV 029
CEA301	ENP015	CEA009
CEA428	ENP017	ENP028
ENP004	CEA700	ENP158
ENP152	ENP019	ATV030
CEA006	ENP022	ENP029
CEA007	ENP154	ENP156
CEA302	ENP155	ENP161
CEA012	ENP023	Eletiva I
ENP151	ENP122	Eletiva II
CEA013	ENP141	Eletiva III
CEA020	ENP701	Eletiva IV

Fonte: Elaborado pela Autora

Nesse caso, várias áreas da Abepro estão representadas por três disciplinas por área com a intenção de proporcionar um conhecimento aprofundado em termos do conteúdo, mas generalista do ponto de vista profissional.

Na grade do curso de engenharia de produção em questão, algumas disciplinas do núcleo profissionalizante dependem de disciplinas do núcleo básico e disciplinas do núcleo específico dependem direta e indiretamente tanto do núcleo básico quanto do núcleo profissionalizante. Para que exista uma coerência no decorrer do curso, foram estipulados pré-requisitos para as matérias que dependem de um conhecimento prévio para poderem ser mais bem aproveitadas. Esses pré-requisitos podem estar em forma de matérias ou de mínimo de horas já cursadas.

Existe um máximo de horas que podem ser cursadas por semestre, que, no caso desse estudo, são 480, o que representa 8 disciplinas em um semestre. O aluno que desejar realizar mais de 480 horas de disciplina por semestre deve encaminhar um pedido a ser analisado em assembléia pelo presidente do colegiado do curso.

5 O MODELO PROPOSTO

De modo a dar suporte aos alunos sobre a escolha das disciplinas a serem cursadas, construiu-se um modelo que visa minimizar a quantidade de períodos a serem cursados para a realização de todas as disciplinas que ainda não foram cursadas.

O modelo proposto foi construído tendo como base janelas de tempo discretas que representam os períodos a serem cursados, sendo que, a quantidade de períodos deverá ser finita, simbolizando o máximo de períodos que este aluno ainda poderá cursar sem que este seja jubilado.

Os conjuntos e índices utilizados na modelagem do problema são mostrados na Tabela 3, as variáveis de decisão na Tabela 4 e os parâmetros necessários na Tabela 5.

Tabela 3: Conjuntos utilizados na formulação proposta

Conjuntos	
$H_{(p)}$	Conjunto de disciplinas disponíveis no período p .
P	Conjunto de períodos existentes.
D	Conjunto de disciplinas existentes.
$PR_{(d)}$	Conjunto de pré-requisitos da disciplina d .

Fonte: Elaborado pela Autora

Tabela 4: Variáveis de decisão da formulação proposta.

Variáveis de decisão	
$x_{(d,p)}$	Indica se a disciplina d está sendo cursada no período p .
$y_{(p)}$	Indica se o período p está ativo.

Fonte: Elaborado pela Autora

Tabela 5: Parâmetros e atributos da formulação proposta.

Parâmetros e atributos	
$c_{(d)}$	Créditos referentes a disciplina d .
C_{max}	Créditos máximos que podem ser cursados em um período.
$S_{realizado}$	Último período cursado pelo aluno.

Fonte: Elaborado pela Autora

O modelo proposto é baseado nos conceitos de sequenciamento de projetos com restrição de recursos que, neste caso, são ditos como os créditos a serem utilizados, buscando minimizar a quantidade de períodos necessários para cursar todas as disciplinas restantes, e informa, como resposta final, qual o período de formatura do aluno. O modelo supracitado é definido por:

$$(1) \quad \text{MIN } R_1: S_{\text{realizando}} + \sum_{p \in P} y_p$$

s. t.

$$(2) \quad \sum_{p \in P \mid d \in H(p)} x_{dp} = 1 \quad \forall d \in D$$

$$(3) \quad \sum_{d \in D} x_{dp} c_d \leq C_{\text{max}} \quad \forall p \in P$$

$$(4) \quad \sum_{p \in P \mid p < k} x_{dp} \geq \sum_{p \in P \mid p < k} x_{mp} \quad \forall d \in D \quad \forall m \in D \quad k \in P \quad d \in PR(m)$$

$$(5) \quad \sum_{d \in D} x_{dp} \leq y_p M \quad \forall p \in P$$

$$(6) \quad y_p \geq y_{p+1} \quad \forall p \in P \setminus p \neq P_{\text{ultimo}}$$

$$(7^*) \quad x_{dp} + x_{mp} \leq 1$$

$$(8) \quad x_{dp} \in \{0,1\} \quad y_p \in \{0,1\}$$

A restrição (2) garante que cada disciplina seja realizada em somente um período, sendo que a disciplina deve estar disponível no respectivo período. A restrição (3) faz com que a carga máxima de créditos em cada período não exceda o limite máximo permitido. A restrição (4) garante que o pré-requisito de uma disciplina seja cursado ao menos um período antes. A restrição (5) verifica se o período está sendo utilizado, ou seja, se estão sendo cursadas disciplinas no referente período. A restrição (6) garante que não existam períodos vazios no meio do tempo máximo de formatura, ou seja, não existem períodos vazios entre períodos que contenham matérias. A restrição (7) garante que duas disciplinas que contenham intersecção de horários em um determinado período, não sejam cursadas ao mesmo tempo (esta restrição é artificial e deve ser feita para cada período e para cada dupla de matérias que não possam ser executadas ao mesmo tempo no respectivo período). E, por fim, a restrição (8) informa o domínio das variáveis de decisão.

6 RESULTADOS COMPUTACIONAIS

De modo a validar os resultados do modelo proposto perante as restrições existentes na seleção das disciplinas a serem cursadas por um aluno, tomou-se como base o histórico de disciplinas da autora deste trabalho, no qual foi utilizado o final do 4º período como ponto de corte para a criação do problema a ser solucionado com a aplicação do modelo.

Em um primeiro caso, foi criado um roteiro hipotético de escolha de disciplinas nos semestres, onde se obteve, assim, um determinado período necessário para a conclusão de todas as disciplinas restantes.

Em um segundo momento, utilizou-se o modelo proposto para a formulação do roteiro de disciplinas.

Os roteiros citados acima podem ser vistos nas Tabelas 6 e 7.

O modelo proposto foi implementado no formato de entrada de dados AMPL.

Os resultados obtidos foram comparados utilizando-se como parâmetros para esta comparação a quantidade de períodos máximos necessários e a seleção de disciplinas em cada período.

Tabela 6: Roteiro de disciplinas hipotético gerado pela autora.

1º Período	2º Período	3º Período	4º Período
CEA001	ENP152	ATV100	ATV100
CEA030	CEA003	ENP151	ENP151
CEA031	CEA004	CEA009	ENP017
ENP100	ENP005	ENP157	ENP155
ENP101	CEA428	ENP154	ENP122
CEA160	CEA301	CEA301	CEA301
		CEA700	CEA404

5º Período	6º Período	7º Período	8º Período	9º Período	10º Período	11º Período
CEA301	CEA428	CEA302	CEA006	CEA013	ENP028	ENP158
ENP014	ENP122	ENP123	CEA428	ENP153	ENP156	ENP161
ENP015	CEA301	CEA006	ENP023	ENP119	ENP029	
CEA428	CEA012	CEA007	ENP022	ENP141	ENP160	
ENP119	ENP019	CEA020		ENP159	ENP701	

Fonte: Elaborado pela Autora

Tabela 7: Roteiro de disciplinas gerado pelo modelo proposto

5º Período	6º Período	7º Período	8º Período	9º Período
CEA119	CEA015	CEA014	ENP701	ENP019
CEA301	CEA006	CEA032	ENP575	ENP123
CEA012	CEA020	CEA122		ENP029
ENP153	ENP126	ENP029		ENP158
ENP155	ENP160	CEA302		ENP161
CEA007	ENP548	ENP023		ENP534
ENP156	ENP028	CEA013		ENP141
ENP572	ENP565	ENP022		ENP159

Fonte: Elaborado pela Autora

Como pode ser visto, a solução gerada pelo modelo proposto não somente foi mais eficaz que a resposta hipotética criada, como também utilizou uma quantidade de períodos inferior ao tempo regular de conclusão de curso.

Outro teste foi realizado considerando vários empecilhos reais que os alunos enfrentam como reprovações em disciplinas do ciclo básico e da disciplina CEA428. Nesse exemplo, as reprovações foram consideradas como demonstra a tabela 8:

Tabela 8: Reprovações durante a graduação

Período	Reprovações
2º	CEA301 e CEA428
3º	ENP151 e CEA428
4º	CEA301, CEA404 e ENP025
5º	
6º	CEA007 e CEA428
7º	CEA007 e CEA428
8º	CEA428
9º	CEA013 e CEA428

Fonte: Elaborado pela Autora

Realizando os testes com o modelo proposto, a sugestão para a realização das disciplinas seria a encontrada na tabela 9.

Tabela 9: Roteiro de disciplinas gerado pelo modelo proposto no exemplo 2

1º Período	2º Período	3º Período	4º Período	5º Período	6º Período
CEA001	CEA003	CEA428	CEA428	CEA428	CEA428
CEA030	ENP004	CEA301	CEA301	CEA301	CEA020
CEA031	CEA428	CEA012	CEA012	CEA020	ENP019
ENP100	CEA301	ENP005	ENP155	ENP017	ENP155
ENP101	CEA012	CEA700	ENP122	ENP119	ENP701
CEA160	ENP155	ENP155	ELT002	ELT001	ENP119
	CEA009	ENP122	ENP029	ENP029	ELT003
		ENP119	ELT004		

7º Período	8º Período	9º Período
CEA428	CEA428	CEA428
CEA007	CEA007	ENP029
ELT002	ENP119	ELT004
ELT003	ENP029	ELT005
ENP029	ENP156	
ENP156		

Fonte: Elaborado pela Autora

Dessa forma é possível notar que, mesmo reprovando diversas vezes no decorrer da graduação, o modelo ainda consegue atender o objetivo de fazer com que o aluno conclua o curso de graduação no tempo mais hábil possível.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O problema de sequenciamento de atividades estudado é de grande interesse público pela aplicabilidade prática direta por graduandos no curso de engenharia de produção do ICEA.

O algoritmo desenvolvido nesse trabalho mostrou-se eficiente em relação à qualidade das soluções geradas, uma vez que as soluções são satisfatórias ao problema estudado.

Porém, ainda não foram considerados neste problema pré-requisitos do tipo “horas mínimas necessárias”. Outro ponto é que não se utilizou as restrições intersecção de horários, uma vez que não se conseguiu informações sobre os quadros de horários dos respectivos períodos.

Com isso, sugere-se para trabalhos futuros, a utilização das restrições de intersecção de horários e o acréscimo das restrições de horas mínimas necessárias para cursar determinada disciplina, já que estas também são restrições do problema real. Além disso, implementar uma restrição para que o aluno possa escolher quantas disciplinas deseja cursar em certo período e também colocar pesos para cada disciplina para que o próprio modelo possa balancear os semestres, não indicando, assim, apenas matérias difíceis para o aluno cursar em certo período. Pode-se também pensar em meios de realizar a solução desse problema considerando outras variáveis como, por exemplo, reopção de curso, portadores de diploma de graduação e alunos transferidos de outras instituições de ensino.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERTRAND, J.W.M. & FRANSOO, J.C. **Modelling and simulations: operations management research methodologies using quantitative modelling.** International Journal of Operations & Production Management, v.22, n.2, p.241-264, 2002.

BRUCKER, P.; DREXL, A.; MÄOHRING, R.; NEUMANN, K. & PESCH, E. **Resource-Constrained Project Scheduling: Notation, Classification, Models, and Methods.** European Journal of Operational Research, Vol. 112, p. 3 – 41, 1999.

DREXL, A.; SALEWSKI F.; A. SCHIRMER; **Project Scheduling Under Resource and Mode Identity Constraints: Model, Complexity, Methods, and Application,** European Journal of Operational Research 102 (1997).

Goldbarg, M.C.; Luna, H.P.L. **Otimização Combinatória e Programação Linear: Modelos e Algoritmos.** Editora Campus, 2ª edição, Rio de Janeiro, 2005.

HAZIN ALENCAR, Luciana; TEIXEIRA DE ALMEIDA, Adiel; MARIA DE MIRANDA MOTA, Caroline. **Sistemática proposta para seleção de fornecedores em gestão de projetos.** Gestão da Produção, São Carlos, 2007. V.14, n.3, p.477-487.

MORABITO, R.; PUREZA, V. **Modelagem e Simulação.** Em: Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações. P. C. Miguel (ed.). 2 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE; **Um Guia do Conjunto de Conhecimentos em Gerenciamento de Projetos – Guia PMBOK.** Terceira Edição: Pennsylvania, EUA (2004).

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R.; **Administração da Produção.** Segunda Edição São Paulo: Atlas (2007).

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R.; **Administração da Produção.** Terceira Edição São Paulo: Atlas (2009).

TUBINO, D. F.; QUEZADO, P. C. M.; CARDOSO, C. R. O. **Programação e Controle da Produção Sob Encomenda Utilizando PERT/CPM e Heurísticas.** XIX ENEGEP, 1999, Rio de Janeiro.

VIEIRA, S. C.; CARVALHO, V. R. C. **Alocação de Recursos e Sequenciamento de Atividades no Planejamento e Controle de Projetos.** In: ENEGEP, XXVI, 2006, Fortaleza.

VIEIRA, S.C.; CARVALHO, V. R. C.; PINTO, F. U. L. R. **Um Modelo de Sequenciamento de Atividades e Alocação de Recursos Limitados em Projetos.** In: SBPO, XXXIX, 2007, Fortaleza.