

UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
ÁREA DE CONHENCIMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS

FERNANDO CECHETT

**MODELAGEM DE PROGRAMAÇÃO DINÂMICA PARA SEQUENCIAMENTO DE
PLANOS CURRICULARES NO ENSINO SUPERIOR**

CAXIAS DO SUL

2020

FERNANDO CECHETT

**MODELAGEM DE PROGRAMAÇÃO DINÂMICA PARA SEQUENCIAMENTO DE
PLANOS CURRICULARES NO ENSINO SUPERIOR**

Dissertação apresentada como requisito parcial
para a obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Mecânica ao Programa de
Mestrado Profissional em Engenharia
Mecânica da Área de Conhecimento de
Ciências Exatas e Engenharias

Orientador: Prof. Dr. Marcos Alexandre
Luciano

Coorientador: Prof. Dr. Leandro Luís Corso

CAXIAS DO SUL

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Universidade de Caxias do Sul
Sistema de Bibliotecas UCS - Processamento Técnico

C387m Cechett, Fernando

Modelagem de programação dinâmica para sequenciamento de planos curriculares no ensino superior [recurso eletrônico] / Fernando Cechett. – 2020.

Dados eletrônicos.

Dissertação (Mestrado) - Universidade de Caxias do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, 2020.

Orientação: Marcos Alexandre Luciano.

Coorientação: Leandro Luís Corso.

Modo de acesso: World Wide Web

Disponível em: <https://repositorio.u cs.br>

1. Engenharia mecânica - Estudo e ensino (Superior). 2. Programação dinâmica. 3. Python (Linguagem de programação de computador). I. Luciano, Marcos Alexandre, orient. II. Corso, Leandro Luís, coorient. III. Título.

CDU 2. ed.: 378:621

FERNANDO CECHETT

**MODELAGEM DE PROGRAMAÇÃO DINÂMICA PARA SEQUENCIAMENTO DE
PLANOS CURRICULARES NO ENSINO SUPERIOR**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica ao Programa de Mestrado Profissional em Engenharia Mecânica da Área de Conhecimento de Ciências Exatas e Engenharias

Aprovado(a) em 17/12/2020

Banca Examinadora

Prof. Dr. Marcos Alexandre Luciano
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof. Dr. Leandro Luís Corso
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof. Dr. Nilda Stecanella
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof. Dr. Alexandre Viecelli
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof. Dr. Gustavo Prates Mezzomo
Universidade de Passo Fundo - UPF

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à pessoa que esteve comigo durante toda essa jornada, minha namorada Alexandra Schrarstzhaupt. Foi quem presenciou o suor e dedicação que ofereci para este trabalho, e quem mais teve que aceitar e lidar com a minha ausência em decorrência dele. Obrigado por todo apoio e incentivo nessa jornada, espero que essa seja mais um de muitos louros que vamos colher juntos.

Agradeço aos meus pais Eva Giceli Cechett e Gilberto Juarez Cechett por sempre se dedicarem a me dar educação de alta qualidade desde os primeiros anos, mesmo que por vezes desafiando suas capacidades financeiras. Sem nunca deixar de me dar amor, carinho, apoio e incentivo.

Agradeço aos Prof. Dr. Marcos Alexandre Luciano, orientador deste trabalho, e ao Prof. Dr. Leandro Luís Corso, coorientador deste trabalho, por toda a orientação, inspiração e paciência que me doaram no decorrer desta empreitada. Espero que tenham tanto orgulho de mim como aluno, como com certeza tenho de poder dizer que os senhores foram meus professores.

Também sou grato aos docentes que compuseram a banca avaliadora não só pelo tempo que dedicaram para a leitura, mas mais ainda pelo tempo que dedicaram para avaliar o trabalho e criticar construtivamente ele. Suas críticas e sugestões com certeza solidificam o caminho necessário para que esse trabalho evolua após o término desta etapa.

À Universidade de Caxias do Sul agradeço a oportunidade que me deram por meio do incentivo aos estudos que dão a todos seus funcionários, sem o qual não teria tido a oportunidade de realizar esse sonho. Além de sempre disponibilizar toda a estrutura, conforto, matérias de apoio, material bibliográfico e segurança para a realização deste trabalho.

“Viver é como andar de bicicleta: É preciso estar em constante movimento para manter o equilíbrio.”

Albert Einstein

RESUMO

Esta dissertação desenvolve um sistema que procura soluções viáveis por meio da Programação Dinâmica para o problema do sequenciamento de disciplinas que um aluno do Bacharelado em Engenharia Mecânica da Universidade de Caxias do Sul precisa cursar para concluir o curso, estando ele atrasado ou não. Comumente alunos procuram os Coordenadores de curso para planejar sua vida acadêmica, sendo o sequenciamento das próximas disciplinas que vai cursar parte deste planejamento. Se visa propor uma ferramenta que auxilie os Coordenadores nesses momentos. O mapeamento da matriz curricular revela as relações de pré-requisitos presente nela, e a definição dos atores envolvidos elucida o papel de cada um no processo. O problema foi definido então pelos termos da Programação Dinâmica, e o sistema que procura soluções viáveis para ele foi construído. Neste trabalho constam diagramas do funcionamento e estrutura desse sistema, assim como processos decisórios internos dele. O funcionamento deste foi testado por meio de cenários que simulavam situações específicas como: replicar a matriz curricular, ou atender as expectativas do aluno quando disciplinas críticas da rede de pré-requisitos estão atrasadas. Quando o sistema não encontrou soluções viáveis para esses cenários, foi possível identificar a causa e propor adaptações aos *inputs* dos atores que resultassem em pelo menos um sequenciamento. Foram identificados pontos para a melhoria da função de retorno, como o balanceamento entre disciplinas e carga-horária das decisões e a priorização de disciplinas que têm relações de pré-requisito. Por meio dessa otimização foi possível encontrar os caminhos mais curtos dentro das delimitações impostas pelas disciplinas e pelos atores. Terminado o desenvolvimento do sistema e testes com cenários são levantados objetivos para futuros trabalhos, que visam engrandecer a ferramenta. Dentre os quais estão a expansão para os demais cursos da instituição, revisão e melhoria dos *inputs* necessários dos atores e testes com situações reais.

Palavras-Chave: Ensino Superior; Engenharia Mecânica; Matriz Curricular; Pré-requisitos; Programação Dinâmica; Python; Sequenciamento;

ABSTRACT

This thesis develops a system that seeks viable solutions through Dynamic Programming for the problem of sequencing of disciplines that a student of the Bachelor of Mechanical Engineering at the University of Caxias do Sul needs to take to complete the course, whether he is late or not. Usually, students look for Course Coordinators to plan their academic life, with the sequencing of the next disciplines as part of this planning. The aim is to propose a tool to assist the Coordinators at these times. The mapping of the curriculum matrix reveals the relationship of prerequisites present in it, and the definition of the actors involved elucidates the role of each one in the process. The problem was then defined by the terms of Dynamic Programming, and the system that seeks viable solutions for it was built. This work contains diagrams of the functioning and structure of this system, as well as internal decision-making processes. The functioning of the system was tested through scenarios that simulated specific situations such as: replicating the curriculum matrix or meeting the student's expectations when critical subjects of the prerequisite network are late. When the system did not find viable solutions for these scenarios, it was possible to identify the cause and propose adaptations to the actors' inputs that would result in at least one sequencing. Points were identified for the improvement of the return function, such as the balance between disciplines and workload of decisions and the prioritization of disciplines that have prerequisite relationships. Through this optimization it was possible to find the shortest paths within the boundaries imposed by the disciplines and the actors. After system development and testing with scenarios are completed, objectives are raised for future work, which aim to enhance the tool. Among which are the expansion to the other courses of the institution, review and improvement of the necessary inputs of the actors and tests with real situations.

Keywords: Higher Education; Mechanical Engineering; Curriculum; Prerequisites; Dynamic Programming; Python; Sequencing.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Problema do caminho mais curto..... | 23 |
| Figura 2 - Resultados do estágio 1..... | 24 |
| Figura 3 - Resultado do estágio 2 até o nó 5 | 24 |
| Figura 4 - Resultado do estágio 2 até o nó 6 | 24 |
| Figura 5 - Resultado do estágio 3 | 24 |
| Figura 6 – Fórmulas recursivas do problema do caminho mais curto..... | 28 |
| Figura 7 - Tabela base para a resolução tabular de problemas de PD..... | 29 |
| Figura 8 - Tabulação do Estágio 3..... | 29 |
| Figura 9 - Tabulação do Estágio 2..... | 29 |
| Figura 10 - Tabulação do Estágio 1..... | 30 |
| Figura 11 - Diagrama da Programação Dinâmica Determinística..... | 31 |
| Figura 12 - Diagrama da Programação Dinâmica Estocástica | 32 |
| Figura 13 - Etapa de Procura Progressiva | 36 |
| Figura 14 - Exemplo Grafo E/OU | 37 |
| Figura 15 - Etapa de Indução Regressiva | 38 |
| Figura 16 - Diagrama das fontes de inputs e output do modelo..... | 39 |
| Figura 17 - Etapas do desenvolvimento do trabalho | 40 |
| Figura 18 - Quantidade de disciplinas na Matriz Curricular por UCH | 46 |
| Figura 19 - Distribuição da UCH nos semestres | 46 |
| Figura 20 - Exemplo do aproveitamento dos Pré-requisitos Parciais..... | 49 |
| Figura 21 - Caminho Crítico da Matriz Curricular do Curso | 50 |
| Figura 22 - Exemplo da identificação do maior caminho a partir de uma disciplina..... | 50 |
| Figura 23 - Estrutura da Divisão dos Estágios | 55 |
| Figura 24 - Comparação entre função exponencial e linear | 56 |
| Figura 25 – Diagrama de relações do Sequenciador | 58 |
| Figura 26 - Modelo de tabela ajustada para o problema de Sequenciamento | 63 |
| Figura 27 - Estrutura e comportamento dos Estágios..... | 63 |
| Figura 28 - Processo de Sequenciamento | 68 |
| Figura 29 - Distribuição do UCH na Matriz Curricular e no Sequenciamento | 71 |
| Figura 30 - Caminho Crítico da Matriz Curricular do Curso Corrigido..... | 72 |
| Figura 31 - Distribuição do UCH na Matriz Curricular e no Sequenciamento após a Correção | 74 |

| | |
|--|----|
| Figura 32 - Distribuição por estágio da UCH e quantidade de disciplinas do sequenciamento do Cenário 1 | 76 |
| Figura 33 - UCH total dos estados do próximo estágio do Cenário 2..... | 79 |
| Figura 34 - UCH das decisões ótimas do Cenário 3 e das disciplinas que não foram sequenciadas | 82 |
| Figura 35 - UCH total por período considerando férias de Inverno e Verão | 84 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 1 - Notações básicas da literatura | 25 |
| Quadro 2- Disciplinas origem e destino | 48 |
| Quadro 3- Maiores caminhos a partir das disciplinas que fazem parte da rede de pré-requisitos | 51 |
| Quadro 4 - Composição da Entidade Aluno | 59 |
| Quadro 5 - Composição da Entidade Coordenador | 59 |
| Quadro 6 - Composição da Entidade Instituição | 60 |
| Quadro 7 - Funções diretas da Entidade Instituição | 60 |
| Quadro 8 - Funções ponderadas da Entidade Instituição | 60 |
| Quadro 9 - Atributos da Entidade da Disciplina..... | 61 |
| Quadro 10 - Atributos básicos da Entidade Estágio | 64 |
| Quadro 11 - Sequenciamento do Cenário Base | 71 |
| Quadro 12 - Estágios das disciplinas do quarto semestre da Matriz Curricular..... | 72 |
| Quadro 13 - Maiores caminhos a partir das disciplinas que fazem parte da rede de pré-requisitos corrigidos..... | 73 |
| Quadro 14 - Sequenciamento do Cenário Base após a Correção | 73 |
| Quadro 15 - Sequenciamento do Cenário 1 | 75 |
| Quadro 16 - Disciplinas que ficaram pendentes ao fim do sequenciamento do cenário 2 | 78 |
| Quadro 17 – Estados iniciais do estágio seguinte ao quarto estágio da resolução do Cenário 2 | 78 |
| Quadro 18 - Decisões ótimas do Cenário 3 e disciplinas que não foram sequenciadas | 82 |
| Quadro 19 - Sequenciamento do Cenário 3 com Férias de Inverno | 83 |
| Quadro 20 - Sequenciamento do Cenário 3 com Férias de Verão..... | 83 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Simulação da quantidade de decisões possíveis..... | 57 |
| Tabela 2 - Decisões ótimas do Cenário 2 com ajuste do limite máximo..... | 80 |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 15 |
| 1.1 | PESQUISA OPERACIONAL | 17 |
| 1.2 | CENÁRIO..... | 17 |
| 1.3 | OBJETIVOS | 19 |
| 1.4 | ESTRUTURA DO TRABALHO | 19 |
| 2 | REFERENCIAL TEÓRICO | 21 |
| 2.1 | PROGRAMAÇÃO DINÂMICA | 21 |
| 2.1.1 | Problema do Caminho mais curto..... | 23 |
| 2.1.2 | Notação | 25 |
| 2.1.3 | Formulação Matemática | 26 |
| 2.1.4 | Resolução Tabular | 29 |
| 2.1.5 | Dimensionalidade..... | 30 |
| 2.1.6 | Problemas Determinísticos e Estocásticos | 31 |
| 2.2 | SEQUENCIAMENTO DE DISCIPLINAS | 32 |
| 2.2.1 | Definição do Problema | 33 |
| 2.2.2 | Definição da Política Ótima | 35 |
| 3 | METODOLOGIA | 39 |
| 3.1 | ETAPAS | 40 |
| 3.1.1 | Mapeamento da Matriz Curricular | 41 |
| 3.1.2 | Definição dos Atores | 41 |
| 3.1.3 | Modelagem do problema por meio da Programação Dinâmica..... | 42 |
| 3.1.4 | Implementação computacional do modelo | 43 |
| 3.1.5 | Teste do modelo..... | 43 |
| 4 | DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO | 44 |
| 4.1 | MAPEAMENTO CURRÍCULAR | 44 |
| 4.1.1 | Carga-horária das disciplinas..... | 45 |
| 4.1.2 | Pré-requisitos | 47 |
| 4.2 | ATORES | 51 |
| 4.2.1 | Aluno | 51 |
| 4.2.2 | Coordenador..... | 53 |

| | | |
|--------------|--|------------|
| 4.2.3 | Instituição | 54 |
| 4.3 | MODELAGEM POR MEIO DA PROGRAMAÇÃO DINÂMICA | 54 |
| 4.4 | MODELAGEM EM PYTHON 3.0 | 57 |
| 4.4.1 | Atores e Contexto | 59 |
| 4.4.2 | Currículo e Disciplinas | 61 |
| 4.4.3 | Sequenciador | 61 |
| 4.5 | TESTES COM PERFIS | 69 |
| 4.5.1 | Cenário Base..... | 70 |
| 4.5.2 | Cenário 1..... | 74 |
| 4.5.3 | Cenário 2..... | 77 |
| 4.5.4 | Cenário 3..... | 81 |
| 5 | CONCLUSÃO..... | 85 |
| | REFERÊNCIAS | 87 |
| | GLOSSÁRIO | 91 |
| | ANEXO A - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO PERFIL DE FORMAÇÃO DO CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA..... | 93 |
| | APÊNDICE A - TABELA DA MATRIZ CURRICULAR..... | 94 |
| | APÊNDICE B - CAMINHOS DA REDE DE PRÉ-REQUISITOS | 96 |
| | APÊNDICE C - PROCESSO DE RECURSÃO DA ENTIDADE ESTÁGIO | 98 |
| | APÊNDICE D - PROCESSO DE FILTRAGEM DAS POSSÍVEIS | 99 |
| | APÊNDICE E - PROCESSO DE GERAÇÃO DAS DECISÕES | 100 |
| | APÊNDICE F - PROCESSO DECISÓRIO DO CONSTRUTOR DE RECURSÃO | 102 |
| | APÊNDICE G - RESUMO DO CENÁRIO BASE..... | 105 |
| | APÊNDICE H - RESOLUÇÃO TABULAR RESUMIDA DO CENÁRIO BASE..... | 106 |
| | APÊNDICE I - CAMINHOS DA REDE DE PRÉ-REQUISITOS CORRIGIDOS | 109 |

| | |
|--|------------|
| APÊNDICE J - RESOLUÇÃO TABULAR RESUMIDA DO CENÁRIO BASE APÓS A CORREÇÃO..... | 111 |
| APÊNDICE K - RESUMO DO CENÁRIO 1 | 114 |
| APÊNDICE L - RESOLUÇÃO TABULAR RESUMIDA DO CENÁRIO 1..... | 115 |
| APÊNDICE M - RESUMO DO CENÁRIO 2..... | 118 |
| APÊNDICE N - RESOLUÇÃO TABULAR RESUMIDA DO CENÁRIO 2 | 119 |
| APÊNDICE O - RESOLUÇÃO TABULAR RESUMIDA DO CENÁRIO 2 COM AJUSTE DO PRAZO..... | 122 |
| APÊNDICE P - TABELA DE SEQUENCIAMENTOS PARA O CENÁRIO 2 COM AJUSTE DO PRAZO..... | 126 |
| APÊNDICE Q - RESOLUÇÃO TABULAR RESUMIDA DO CENÁRIO 2 COM AJUSTE DOS LIMITES | 141 |
| APÊNDICE R - RESUMO DO CENÁRIO 3..... | 143 |
| APÊNDICE S - RESOLUÇÃO TABULAR RESUMIDA DO CENÁRIO 3..... | 144 |
| APÊNDICE T - RESOLUÇÃO TABULAR RESUMIDA DO CENÁRIO 3 COM FÉRIAS DE INVERNO..... | 145 |
| APÊNDICE U - RESOLUÇÃO TABULAR RESUMIDA DO CENÁRIO 3 COM FÉRIAS DE VERÃO | 146 |

1 INTRODUÇÃO

Mudança é um termo que faz parte da história da Educação Superior (ES) brasileira, da sua criação até a atualidade os desafios e paradigmas aumentam e mudam constantemente. Seja pela ação do estado, pela evolução tecnológica, pela mudança do perfil do corpo discente ou aumento de atores no mercado, cabe às instituições se adaptarem e evoluírem para continuarem socialmente relevantes. Se no início do Século XX o Brasil possuía apenas uma Universidade e algumas Faculdades (SOARES, 2002), em 2017 o número de Instituições de Ensino Superior (IES) chegou à 2.448, das quais aproximadamente 88% eram privadas e o restante públicas (INEP, 2018).

As IES privadas, que hoje concentram 71,21% das aproximadamente 6,5 milhões das matrículas no país (INEP, 2018), surgiram com a descentralização do ensino superior oriundo da Constituição da República de 1891 (SAMPAIO, 2000). Desde então, intencionalmente ou não, têm funcionado principalmente como um absorvedor de demanda (SALTO, 2017). Com as vagas no ensino público sendo extremamente competitivas e principalmente acessíveis às classes mais altas (MCCOWAN, 2004), o setor privado foi adotado como pilar da expansão do ensino superior pelos governos de Fernando Henrique Cardoso (FHC) e posterior mantido pelo de Luiz Inácio “Lula” da Silva (MCCOWAN, 2007).

Quanto a sua natureza acadêmica, as IES podem ser classificadas como Faculdades, Centros Universitários e Universidades (BRASIL, 2017), enquanto pela categoria administrativa as IES privadas se enquadram em quatro categorias: particulares, comunitárias, confessionais e filantrópicas (BRASIL, 1996). O país, vindo de uma tradição legal que só previa ensino superior sem fins lucrativos, por meio do art. 1º do Decreto nº.306, de 19 de agosto de 1997 dispôs que as entidades poderiam assumir natureza civil ou comercial (SAMPAIO, 2000). Com isso, na gestão de FHC, se caminhou na direção do reconhecimento de instituições com fins lucrativos. Já que algumas instituições tinham de fato fins lucrativos, o governo estava deixando de recolher impostos (LEVY, 2006 *apud* SALTO, 2017).

Segundo Fioreze e McCowan (2018) essas IES competem pelo mesmo mercado de estudantes que IES sem fins lucrativos, mais especificamente as comunitárias. Devido a sua administração orientada ao negócio, focada em cursos noturnos e organização hierárquica enxuta, conseguem oferecer cursos mais baratos. Este mercado tem forçado as IES comunitárias a adotar uma posição mais orientada ao negócio ameaçando algumas de suas características fundamentais, já que para sobreviver são forçadas a buscar o lucro e acabam realizando cortes em serviços que seriam de interesse público.

Entende-se pelas normas legais que as comunitárias, confessionais e filantrópicas estão sujeitas ao controle do Estado, mas em troca podem receber isenções fiscais e recursos públicos (SAMPAIO, 2000). E no caso das comunitárias, muitas possuem em seus conselhos deliberativos representantes governamentais. Mas, mesmo assim, elas conseguem preservar sua autonomia decisória e financeira, fazendo-as instituições não-estatais (SCHMICT, 2010 *apud* FIOREZE, 2017). Segundo Fioreze (2017), dentre no conjunto das comunitárias existe uma separação, utilizada pela Associação Brasileira das Universidades Comunitárias (ABRUC), entre as comunitárias regionais e comunitárias confessionais, a primeira sendo instituições laicas e originadas em sociedades regionais, e a segunda associada a uma confissão religiosa.

Dentre as comunitárias regionais, principais responsáveis pela interiorização da educação superior no estado do Rio Grande do Sul (FIOREZE, 2017), se encontra a Universidade de Caxias do Sul (UCS). Constituída em 1967 a partir de associação de cinco escolas e faculdades da cidade de Caxias do Sul (RECH; PAVIANI, 2018), hoje a UCS mantém unidades em 8 cidades diferentes, ofertando 78 cursos de Graduação e 28 de Pós-graduação, dentre outros (UCS, 2019). Sendo uma Universidade comunitária regional ela tem enfoque no desenvolvimento da região e é sem fins lucrativos (FIOREZE; MCCOWAN, 2018), mas precisa manter o caixa para lidar com imprevistos e financiar projetos de investimento e de cunho social (ROCHA; GRANEMANN, 2003).

A UCS, como as demais IES Comunitárias, está entre esses dois extremos da educação superior brasileira. Não é uma Universidade pública que recebe fundos do governo, mas também não é Universidade privada que visa o lucro em detrimento de suas responsabilidades sociais. Ela deve competir num mercado instável, que segundo Campos, Henriques e Yanaze (2017) vem apresentando tendências como: o contínuo desbalanceamento entre a oferta e demanda de vagas, o aumento de cursos à distância e o aumento da necessidade de programas de financiamentos governamentais. Exigindo novas formas de gerenciamento e governança das instituições, para garantir a sustentabilidade a longo prazo.

Segundo Fioreze (2017), as instituições comunitárias devido a sua origem são híbridas, sendo assim, suas dimensões públicas e privadas coexistem. Mas que justamente pela presença de características de ambas as dimensões, tornam-se plásticas e resilientes. Suas características privadas a atribuem plasticidade, por meio da agilidade com que têm potencial de responder às demandas da sociedade, principalmente do setor produtivo. Já a resiliência é advinda das suas características públicas, assegurando o atendimento das demandas do setor produtivo sem implicar na quebra de compromissos públicos da instituição.

Técnicas que vêm sendo aplicadas no setor da educação, e dando frutos na forma de soluções e melhorias, são as pertencentes à Pesquisa Operacional (PO). Mesmo sendo ainda pouco abordada na literatura, comparada com suas aplicações em outras áreas, há casos em que contribui ativamente em temas como: alocação de recursos, eficiência das IES, agendamentos, definição de horários e roteamento de transporte (JOHNES, 2015).

1.1 PESQUISA OPERACIONAL

Apesar de certos dos seus modelos e técnicas terem origem mais antigas, o início da disciplina conhecida hoje como Pesquisa Operacional (PO) é comumente atribuído às ações militares da Segunda Guerra Mundial. Nesse período, a escassez dos recursos para as operações militares e o elevado grau de complexidade deste e de outros problemas estratégicos fez com que os comandos britânicos e americanos convocassem grupos de cientistas para realizarem “pesquisas” sobre as “operações” militares. Nas quais obtiveram sucesso, com papel destacado em batalhas importantes. Mas com o fim da guerra veio o *boom* industrial, e a complexidade dos problemas das organizações civis ganhou o primeiro plano. (HILLIER; LIEBERMAN, 2013; RAVIDRAN; PHILLIPS e SOLBERG, 1987).

Houve então um desenvolvimento substancial das técnicas de PO, com várias destas atingindo um estado considerável de desenvolvimento antes dos anos 1950, incluindo a Programação Dinâmica. Além disso, a revolução computacional permitiu a realização de cálculos milhões de vezes mais rápido quando comparados aos feitos por um ser humano. Já nos anos 1980 outro estímulo surgiu, os computadores pessoais, que permitiram o acesso de muito mais pessoas à PO e aceleraram o seu progresso na década de 1990 e século XXI (HILLIER; LIEBERMAN, 2013).

O modelo geral da PO consiste na maximização ou minimização de uma função objetivo, sujeita a um conjunto de restrições. A solução desse modelo é denominada viável se respeita todas as restrições, e ótima se também resulta num valor máximo ou mínimo da função objetivo. Para resolver os modelos que podem surgir a partir de problemas reais não há apenas uma técnica, sendo o tipo e a complexidade do modelo matemático que determinará a natureza do método. Além da mais popular Programação Linear, a PO também inclui a Programação Inteira, Não-linear, Otimização em Redes e a Programação Dinâmica (TAHA, 2008).

1.2 CENÁRIO

A Área de Conhecimento de Ciências Exatas e Engenharias da UCS engloba os cursos de Bacharelado em Engenharias e em Tecnologia da Informação (TI), como os cursos de Ciências da Computação e Sistemas de Informação. A maior parte dos cursos é ofertado nos

turnos vespertino e noite, já que a cidade é polo metal mecânico e culturalmente esses cursos atendem alunos que trabalham no período diurno.

De acordo com dados da Sinopse Estatística da Educação Superior de 2017 (INEP, 2018) aproximadamente metade (49,24%) das 6,5 milhões matrículas nacionais, são em cursos noturnos de IES privadas. Esses alunos superam diversas dificuldades para se manterem nas instituições, sejam elas materiais ou pessoais, e veem no ensino superior um meio para realizar seus projetos de futuro (FURLANI, 1998).

Independente das características do aluno, é grande a necessidade de Orientação Educacional no Ensino superior, para proporcionar a oportunidade de os alunos realizarem autoconhecimento e superar dificuldades (SILVA, 1998). Na UCS, além de terem acesso a programas internos de orientação, os alunos também podem buscar orientação com os coordenadores de seus cursos. Quando querem organizar sua grade de disciplinas, resolver problemas que estejam tendo com o curso ou tirar dúvidas, os coordenadores de curso podem “recomendar” as disciplinas que o aluno deve priorizar para atingir os objetivos desejados. Entretanto esse processo não é automatizado ou padronizado na instituição.

Ao escolher disciplinas sem um plano, o tempo para a graduação do estudante pode ser desnecessariamente prolongado. Ele corre o risco de se encontrar em uma situação desconfortável, na qual, em um dado período as disciplinas que ele precisa cursar não são as que estão sendo ofertadas pela instituição. Sendo assim, um planejamento que leve em conta pré-requisitos, obrigadoriedades e quando as disciplinas são ofertadas, se faz necessário (XU; XING e SCHAAR, 2016).

Xu, Xing e Schaar (2016) propõe em sua pesquisa um sistema de recomendação de sequência de disciplinas, que personaliza a recomendação conforme o background do aluno. O sistema cria um plano completo, até a conclusão do curso, de quando e quais disciplinas o aluno deve cursar. Essa recomendação acontece em duas etapas, primeiro selecionando um conjunto de sequências que minimizem o tempo esperado de graduação ou maximizando a probabilidade de graduação no tempo correto. E em seguida, por meio de dados históricos de outros alunos semelhantes a ele, selecionando uma sequência adequada para o aluno.

Com o intuito de emular conceitos abordados por Xu, Xing e Schaar (2016) combinados ao cenário de uma IES Comunitária, este trabalho propôs o desenvolvimento de um sistema para a recomendação da sequência de disciplinas que o aluno deve cursar para atingir a conclusão do curso. Entretanto, diferentemente do trabalho dos autores, o sistema não recomenda considerando o perfil social (gênero, idade, estado civil etc.) e histórico escolar progresso do aluno.

O foco da análise foi dado ao curso de Engenharia Mecânica, mas isso não impede que o trabalho seja replicado futuramente com outros cursos. O modelo de PD gerado assim como o conhecimento adquirido sobre o curso, instituição, dificuldades do coordenador e preferências dos alunos podem ser adaptados para o entendimento das dificuldades dos diferentes cursos da instituição, onde os alunos também podem enfrentar atrasos na sua titulação devido a dificuldades em definir quais as melhores disciplinas devem escolher, e os coordenadores, um excesso de demanda de orientação dos alunos e falta de automatização do processo de recomendação de matrícula. Por fim, a modelagem do algoritmo de PD foi feita na linguagem de programação *open source*, denominada *Python*, Devido à sua popularidade, vasta diversidade de bibliotecas disponíveis e não requerer investimentos para sua utilização.

1.3 OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo desenvolver um sistema que procure soluções viáveis por meio da Programação Dinâmica, para o problema do sequenciamento de disciplinas, que um aluno do Bacharelado em Engenharia Mecânica da Universidade de Caxias do Sul precisa cursar para concluir o curso, independente do ponto do curso em que ele se encontra.

Para tal, será buscado:

- mapear a matriz curricular do curso de Bacharelado em Engenharia Mecânica da Universidade de Caxias do Sul;
- identificar as estruturas de pré-requisito existente entre as disciplinas que compõe a matriz;
- definir os papéis que cada ator exerce no processo de sequenciamento (Aluno, Coordenador e Instituição), bem como estes afetam o sequenciamento das disciplinas;
- modelar o problema nos termos da Programação Dinâmica, incluindo a função de retorno recursiva;
- implementar o modelo na linguagem computacional Python, que entregue os sequenciamentos para o usuário quando soluções viáveis forem encontradas;
- testar o modelo implementado com perfis fictícios de alunos, simulando possíveis casos que o coordenador pode encontrar no seu dia a dia.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

No capítulo 2 é feita uma revisão da bibliografia da Programação Dinâmica, tratando da sua origem, conceitos e aplicações. No capítulo 3 é apresentada metodologia adotada,

iniciando com a problematização proposta em Xu, Xing e Schaar (2016) seguida das adaptações que serão feitas para o cenário da instituição e as etapas para atingir o objetivo final. No capítulo 4 é apresentado o desenvolvimento do trabalho, com formulação do modelo, a implementação do modelo e os testes realizados. Por fim, no capítulo 5 é apresentada a conclusão.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta etapa são apresentados os conceitos utilizados no decorrer do trabalho, especificamente a Programação Dinâmica (PD) e o problema de sequenciamento de disciplinas trabalhado por Xu, Xing e Schaar (2016). Enquanto a última é um problema específico, a PD é uma ferramenta versátil, veloz e de fácil implementação que se aplica além o exemplo que será abordado nos próximos capítulos. Dentre as aplicações que podem ser encontradas na literatura, podem ser citadas a do cálculo do tamanho de lotes (TOLEDO; SHIGUEMOTO, 2005), roteamento de veículos (JULA; DESSOUKY, *et al.*, 2005; FILHO; GUALDA, 2008) e substituição de equipamentos (ABENSUR, 2015). Até em áreas incomuns é possível encontrar aplicações, como em jogos de tabuleiro (SMITH, 2007) e shows de perguntas e resposta (PEREA; PUERTO, 2007).

2.1 PROGRAMAÇÃO DINÂMICA

Assim como outras ferramentas de PO, a Programação Dinâmica (PD) surgiu após da Segunda Guerra Mundial, no fim dos anos 40 e início dos 50. O desenvolvimento de seus conceitos é atribuído à Richard Bellman, enquanto este era pesquisador na *The Rand Corporation*¹. Mas ganhou importantes contribuições de outros autores, à medida que Bellman e seus colegas popularizaram a ferramenta (RAVIDRAN; PHILLIPS e SOLBERG, 1987).

Enquanto na maior parte dos problemas de PO o objetivo é encontrar valores ótimos para “variáveis de decisão”, que são tratadas simultaneamente. Na PD os problemas são decompostos em decisões menores e re combinadas para encontrar a solução do problema original, numa abordagem que pode ser denominada de resolução de problemas em múltiplos estágios (RAVIDRAN; PHILLIPS e SOLBERG, 1987). Cada estágio em que o problema foi dividido apresenta menor desafio para a resolução dos cálculos, já que lida apenas com uma variável e não com todas as variáveis do problema simultaneamente (TAHA, 2008).

Em contrapartida, a PD não possui uma formulação matemática geral, sendo necessário desenvolver equações particulares para cada problema, o que exige *insight* sobre o problema para reconhecer quando e como a ferramenta pode ser aplicada (HILLIER; LIEBERMAN, 2013).

São considerados problemas de PD aqueles que podem ser divididos em *estágios* (HILLIER; LIEBERMAN, 2013), os quais são considerados pontos de tomada de decisão, em

¹ Fundada em maio de 1948, logo após o fim da Segunda Guerra Mundial, a RAND Corporation é uma instituição sem fins lucrativos dedicada à pesquisa nos mais variados campos. Atua em pesquisas no campo da energia, educação, saúde, justiça, meio-ambiente, relações internacionais e segurança nacional. Tendo como seus maiores patrocinadores as agências de segurança norte americanas (RAND CORPORATION, 2019).

que a decisão tomada em um determinado estágio do problema define valores de parâmetros relevantes para os estágios seguintes (ARENALES; ARMENTANO, *et al.*, 2007). Isso porque os cálculos são feitos de maneira recursiva, o que significa que a solução ótima de um estágio é dada como entrada para o estágio seguinte, sucessivamente até que todos os estágios tenham sido resolvidos e a solução ótima do problema original encontrada (TAHA, 2008).

Cada estágio possui um número, finito ou infinito, de *estados* associados a ele. Estes contêm as informações necessárias para a tomada de decisão, em geral representando possíveis condições em que o sistema poderia se encontrar num determinado momento (ARENALES; ARMENTANO, *et al.*, 2007; HILLIER; LIEBERMAN, 2013). A definição adequada dos estados, no processo de resolução do problema, é o que permite tomar decisões ótimas em cada estágio separadamente enquanto é garantida uma solução viável para o sistema como um todo (TAHA, 2008).

As *decisões* que poderão ser tomadas em cada estágio dependem dos estados observados nestes, e a sequência coerente (que não viola restrições do problema) da tomada destas no problema como um todo é denominada *política*. Elas agem sobre as políticas a serem adotadas em cada estágio, transformando o estado atual em um associado ao início do próximo estágio (ARENALES; ARMENTANO, *et al.*, 2007; HILLIER; LIEBERMAN, 2013).

Cada decisão tem um valor, incremento ou custo refletido em uma *função de retorno*. Esta função depende normalmente do estado e da decisão tomada em um estágio, e retorna um valor ótimo quando a decisão sobre o estado obtiver um valor máximo ou mínimo da função. Por consequência, o conjunto das decisões ótimas que otimizam o valor do retorno é denominado de *política ótima* (RAVIDRAN; PHILLIPS e SOLBERG, 1987).

O conceito fundamental da PD é contido no *princípio da otimalidade* (RAVIDRAN; PHILLIPS e SOLBERG, 1987), e é a base que possibilita a decomposição dos problemas em estágios (ARENALES; ARMENTANO, *et al.*, 2007). Esse princípio foi cunhado por Richard Bellman (1954, p. 504, tradução do autor) e define, que:

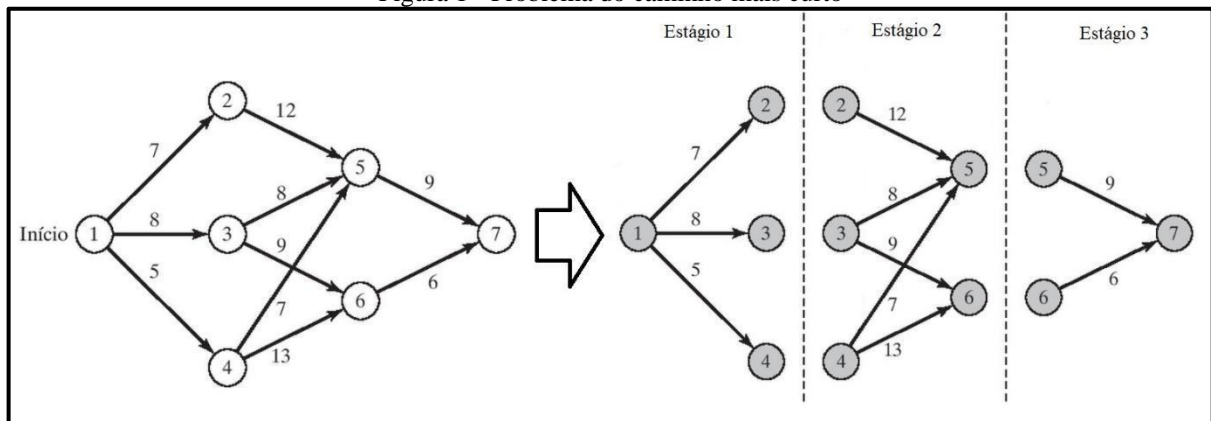
Uma política ótima tem a propriedade de que, independentemente do estado inicial e das decisões iniciais, as restantes decisões devem constituir uma política ótima em relação ao estado resultante das primeiras decisões.

Portanto, uma decisão ótima referente à um determinado estado depende exclusivamente dele, e não de como se chegou nele. Em geral, um estado transmite todas as informações necessárias para uma política ótima sucessiva. Essa propriedade é denominada *propriedade markoviana*, sem a qual, um problema não pode ser resolvido com Programação Dinâmica (HILLIER; LIEBERMAN, 2013).

2.1.1 Problema do Caminho mais curto

Para ilustrar os conceitos trazidos até esse ponto será utilizado um exemplo da literatura proposto por Taha (2008), especificamente o problema do caminho mais curto entre duas cidades, em que um viajante que saíra da cidade 1 (nó 1), precisa chegar na cidade 7 (nó 7) percorrendo a menor distância possível. Na Figura 1 o problema está representado em termos de uma rede à esquerda, onde cada nó representa uma cidade e as arestas (setas) a distância entre as cidades. Caso não haja arestas entre as cidades, não há um caminho direto entre elas. À direita da figura está representada a decomposição em estágios do problema, como caracteriza a metodologia de resolução por meio de PD. Para fins dessa exemplificação, cada aresta equivale à distância em quilômetros (km) entre as cidades.

Figura 1 - Problema do caminho mais curto



Fonte: Taha (2008)

Segundo Hillier e Liberman (2013, p. 409-410) essa metodologia sugere que problemas de PD podem ser expressos em termos de rede, e sobre a interpretação da rede explicam que

Cada nó corresponderia a um estado. A rede seria formada por colunas de nós, e cada coluna corresponde a um estágio, de modo que o fluxo de um nó poderia ir somente a um nó da próxima coluna à direita. As ligações de um nó a nós da coluna seguinte correspondem às possíveis decisões sobre a política a ser adotada sobre para qual estado avançar a seguir. O valor designado para cada ligação pode normalmente ser interpretado como a contribuição imediata à função objetivo por realizar aquela determinada decisão sobre a política a ser adotada.

Dadas essas informações, fica evidente o alinhamento entre os dois autores. Para a resolução do problema, segundo Taha (2008), a ideia básica é determinar a distância cumulativa mais curta até cada nó terminal de um estágio, ou seja, os nós finais, e usar esses resultados como entrada para o nó seguinte. Iniciando pelo estágio 1, há três nós terminais (2, 3 e 4) e como o nó 1 é o primeiro não há distâncias acumuladas até ele. Portanto os resultados são

encontrados apenas com as distâncias do nó 1 até todos os terminais (Figura 2). Assim, a política ótima para alcançar qualquer um dos nós do no estágio 1 é partir do nó 1 (TAHA, 2008).

Figura 2 - Resultados do estágio 1

$$\begin{aligned} \text{Distância mais curta do nó 1 ao nó 2} &= 7 \text{ km (a partir do nó 1)} \\ \text{Distância mais curta do nó 1 ao nó 3} &= 8 \text{ km (a partir do nó 1)} \\ \text{Distância mais curta do nó 1 ao nó 4} &= 5 \text{ km (a partir do nó 1)} \end{aligned}$$

Fonte: adaptado Taha (2008)

Em seguida passa-se para a resolução do estágio 2, onde existem dois estados terminais (5 e 6) mas três estados iniciais (2, 3 e 4). Os resultados do estágio 1 são dados como entrada do estágio 2 por meio do termo “menor distância até o nó i ”, que é somada à distância entre o nó de entrada e o nó terminal. A Figura 3 expõe a resolução do problema para o nó 5 (TAHA, 2008).

Figura 3 - Resultado do estágio 2 até o nó 5

$$\begin{aligned} (\text{menor distância até o nó 5}) &= \{(\text{menor distância até o nó } i) + (\text{menor distância do nó } i \text{ ao nó 5})\} \\ &= \left\{ \begin{array}{l} 7 + 12 = 19 \\ 8 + 8 = 16 \\ 5 + 7 = 12 \end{array} \right\} = 12 \text{ km (a partir do nó 4)} \end{aligned}$$

Fonte: adaptado Taha (2008)

Nesse caso, a menor distância acumulada até o nó 5 é a partir do nó 4. Já que a distância entre os dois é 7 km, e a distância até o nó 4 é de 5 km. Da mesma maneira, os cálculos são realizados para o nó 6, conforme a Figura 4 (TAHA, 2008).

Figura 4 - Resultado do estágio 2 até o nó 6

$$\begin{aligned} (\text{menor distância até o nó 6}) &= \{(\text{menor distância até o nó } i) + (\text{menor distância do nó } i \text{ ao nó 6})\} \\ &= \left\{ \begin{array}{l} 8 + 9 = 17 \\ 5 + 13 = 18 \end{array} \right\} = 17 \text{ km (a partir do nó 3)} \end{aligned}$$

Fonte: adaptado Taha (2008)

Para o nó 6 a menor distância acumulada até ele é a partir do nó 3, já que a distância entre os dois é 9 km e a distância até o nó 3 é de 8 km. Finalizando os cálculos, é analisado o estágio 3 conforme a Figura 5. Onde há apenas um nó terminal (7) e dois iniciais (5 e 6) (TAHA, 2008).

Figura 5 - Resultado do estágio 3

$$\begin{aligned} (\text{menor distância até o nó 7}) &= \{(\text{menor distância até o nó } i) + (\text{menor distância do nó } i \text{ ao nó 7})\} \\ &= \left\{ \begin{array}{l} 12 + 9 = 21 \\ 17 + 6 = 23 \end{array} \right\} = 21 \text{ km (a partir do nó 5)} \end{aligned}$$

Fonte: adaptado Taha (2008)

Os resultados mostram que a menor distância entre a cidade 1 e 7 é de 21 km, e revisando os cálculos dos estágios anteriores é possível determinar o caminho ótimo. No estágio

3 a menor distância acumulada até o nó 7 é partindo do nó 5, no estágio 2 a menor distância acumulada até o nó 5 é partindo do nó 4 e no estágio 1 a menor distância acumulada até o nó 4 é partindo do nó 1. Portanto, a rota ótima é $1 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 7$ (TAHA, 2008).

2.1.2 Notação

Antes de ser apresentada a formulação matemática para o exemplo, é necessário padronizar as notações que serão utilizadas, já que, dentre as referências utilizadas, não há unanimidade sobre nenhuma das notações básicas.

Os estágios, por exemplo, são denominados como i nos materiais de Taha (2008) e Arenales, Armentano, *et al* (2007). Já em Hillier e Lieberman (2013) e Ravindran, Phillips e Solberg (1987), os estágios são n . Se esta fosse a única diferença não haveria necessidade deste parêntese, mas como pode ser visto no Quadro 1 as notações básicas em alguns casos podem ser completamente diferentes.

Quadro 1 - Notações básicas da literatura

| Autores | Estágio | Estado atual | Decisão | Retorno da decisão atual | Estado anterior/posterior |
|---|---------|--------------|----------|--------------------------|---------------------------|
| Arenales, Armentano, <i>et al.</i> (2007) | i | j | $d_i(j)$ | $c_i(d_i(j))$ | $e(d_i(j))$ |
| Hillier e Lieberman (2013) | n | s_n | x_n | c_{sx_n} | s_{n-1} / s_{n+1} |
| Ravindran, Phillips e Solberg (1987) | n | S_n | d_n | $r_n(S_n, d_n)$ | S_{n-1} / S_{n+1} |
| Taha (2008) | i | x_i | - | $d(x_{i-1}, x_i)$ | x_{i-1} / x_{i+1} |

Fonte: O Autor (2020)

Além destas, há uma diferença entre como os estágios estão ordenados para Ravindran, Phillips e Solberg (1987) e para os demais autores. Os primeiros enumeram os estágios dos problemas de forma crescente da direita para a esquerda, enquanto os demais enumeram de forma crescente da esquerda para a direita, sendo que a última forma de enumeração foi a utilizada no exemplo anterior, onde o estágio um está na esquerda e cresce para a direita até o estágio três.

Essa diferença se reflete na denominação dos processos de resolução dos problemas de PD, que podem ser tanto progressivos quanto regressivos. Para Taha (2008), Arenales, Armentano, *et al* (2007) e Hillier e Lieberman (2013) a recursão é denominada *recursão progressiva* quando a resolução inicia no estágio 1, que está à esquerda, e avança até o estágio

final à direita. O processo sendo realizado de maneira inversa, começando do estágio final e indo para o estágio 1, é denominado de *recursão regressiva*. Já para Ravindran, Phillips e Solberg (1987) as definições são inversas, uma recursão progressiva começa do estágio final e uma recursão regressiva do estágio 1.

Será considerada a disposição dos estágios da esquerda para direita, visto que as três referências mais atuais (ARENALES; ARMENTANO, *et al.*, 2007; TAHA, 2008; HILLIER; LIEBERMAN, 2013) também à utilizaram. Visto que conceitos básicos, como o do estado atual, podem ter notações diferentes para cada um dos quatro autores, serão definidas notações específicas para esse trabalho. Portanto, em momentos, a notação sendo utilizada para citar um autor não será idêntica à utilizada por ele.

Para este trabalho os estágios serão representados por n , onde os problemas de PD são formados por N estágios. Em cada estágio são observados estados s , e s_n é o estado de um determinado estágio n . Segundo Ravindran, Phillips e Solberg (1987) a cada estágio é necessário tomar uma decisão, e esta decisão repercutirá em uma recompensa ou custo. Sendo assim as decisões tomadas no estágio n serão denominadas d_n , e $r_n(s_n, d_n)$ o retorno supondo que o estado quando é tomada essa decisão é s_n .

2.1.3 Formulação Matemática

Ainda que a PD não tenha uma formulação matemática geral, sua aplicação requer a definição de uma relação recursiva apropriada para cada problema (HILLIER; LIEBERMAN, 2013). Sendo assim, a seguir serão tratados os principais conceitos necessários para essa definição. Dado o procedimento de resolução por estágios da PD, é necessário manter um registro de todos os retornos acumulados etapa a etapa. Portanto, $f_n(s_n, d_n)$ denota o retorno acumulado em n estágios. Um estado s_n pode ter diversas possíveis decisões d_n associadas a ele, dentre as quais uma pode ser d_n^* . E essa decisão em particular gera um retorno ótimo no estágio n , que será denominado $f_n^*(s_n)$ (RAVIDRAN; PHILLIPS e SOLBERG, 1987).

O conjunto das decisões que levam a um resultado ótimo forma a política ótima (RAVIDRAN; PHILLIPS e SOLBERG, 1987), e há uma relação recursiva que identifica a política ótima para o estágio n , dada a política ótima para o estágio seguinte, sempre na forma de (HILLIER; LIEBERMAN, 2013):

$$f_n^*(s_n) = \underset{d_n}{\text{mín/máx}}\{f_n(s_n, d_n)\} \quad (1)$$

Em problemas que lidam com retornos aditivos e o objetivo é minimizar o acúmulo desses retornos, o problema de otimização pode ser representado como pela Equação 2

(RAVIDRAN; PHILLIPS e SOLBERG, 1987), ou seja, é o somatório de todos os retornos ótimos, dele e de todos os estágios anteriores a ele.

$$f_n^*(s_n) = \underset{d_n}{\text{mín}}\{r_n(s_n, d_n) + r_{n-1}(s_{n-1}, d_{n-1}) + \dots + r_1(s_1, d_1)\} \quad (2)$$

Visto que o estado s_n é análogo a um dos nós iniciais no estágio n do exemplo do problema do caminho mais curto, $f_n^*(s_n)$ pode ser considerada a distância mais curta partindo do estado s_n . E as decisões d_n a serem tomadas são para qual nó o viajante deve ir, nesse estágio dado o estado inicial, cujo retorno imediato, $r_n(s_n, d_n)$, é a distância entre os dois nós (TAHA, 2008).

No estágio 1 nada afeta a decisão exceto o próprio estado inicial, já que não há decisão para ser tomada anteriormente a ele. Então, o retorno ótimo é o valor mínimo da função de retorno nesse estágio, descrito pela Equação 3 (RAVIDRAN; PHILLIPS e SOLBERG, 1987).

$$f_1^*(s_1) = \underset{d_1}{\text{mín}}\{r_1(s_1, d_1)\} \quad (3)$$

Tendo o resultado para o estágio 1, o próximo a ser resolvido é o 2. Este é um produto da decisão tomada nele e do que aconteceu anteriormente, ou seja, o que aconteceu no estágio 1, logo, o retorno ótimo para o estágio 2 pode ser descrito pela Equação 4 (RAVIDRAN; PHILLIPS e SOLBERG, 1987). A adição de $f_1^*(s_1)$ ao segundo termo da equação é o que a torna recursiva, já que assim $f_2^*(s_2)$ é definida em termos de $f_1^*(s_1)$ (HILLIER; LIEBERMAN, 2013).

$$f_2^*(s_2) = \underset{d_2}{\text{mín}}\{r_2(s_2, d_2) + f_1^*(s_1)\} \quad (4)$$

Estendendo essa lógica recursiva para um problema com N estágios, a equação geral desse sistema será descrita pela Equação 6 (RAVIDRAN; PHILLIPS e SOLBERG, 1987).

$$f_N^*(s_N) = \underset{d_N}{\text{mín}}\{r_N(s_N, d_N) + f_{N-1}^*(s_{N-1})\} \quad (5)$$

Utilizando essa relação recursiva é possível que o processo de resolução seja executado estágio a estágio, até que o retorno ótimo no estágio final N seja encontrado. A partir daí, é possível recuperar as decisões tomadas em cada estágio, definindo qual a sequência de decisões chegou ao valor ótimo em N (RAVIDRAN; PHILLIPS e SOLBERG, 1987).

O problema do caminho mais curto utilizado como exemplo tem $N = 3$, logo, decisões ótimas nos três estágios têm que ser tomadas para encontrar o caminho mais curto. A Figura 6 esquematiza a fórmula recursiva do problema, onde pode ser visualizado mais claramente como

a relação entre os estágios aconteceria. São representadas as funções dos estágios 3, 2 e 1, e destacados pelo quadrado pontilhado a presença de cada uma dentro da outra. Exceto no estágio 1 que não tem anteriores, as demais são compostas pelo retorno imediato e do retorno até o estágio anterior.

Figura 6 – Fórmulas recursivas do problema do caminho mais curto

$$\begin{aligned}
 f_3^*(s_3) &= \underset{d_3}{\text{mín}}\{r_3(s_3, d_3) + f_2^*(s_2)\} \\
 f_2^*(s_2) &= \underset{d_2}{\text{mín}}\{r_2(s_2, d_2) + f_1^*(s_1)\} \\
 f_1^*(s_1) &= \underset{d_1}{\text{mín}}\{r_1(s_1, d_1)\}
 \end{aligned}$$

Fonte: O Autor (2020)

O que garante a decisão tomada no estágio 3 será um valor ótimo de $f_3^*(s_3)$ é o princípio da otimalidade. Com essa garantia só é necessário saber qual foi o resultado ótimo para se chegar até esse estágio, e não qual foi a sequência de decisões para se chegar nele. Por exemplo, no estágio 3 só é levado em consideração as menores distâncias até os nós 5 e 6, e não qual o caminho percorrido a partir de 1 (TAHA, 2008).

A equação recursiva que descreve o problema, então pode ser definida por meio da Equação 6 (TAHA, 2008).

$$f_n^*(s_n) = \underset{d_n}{\text{mín}}\{r_n(s_n, d_n) + f_{n-1}^*(s_{n-1})\}, n = 1, 2, 3 \quad (6)$$

Nesse caso os cálculos foram executados do estágio 1 ao 3 ou, da esquerda para a direita, caracterizando uma *recursão progressiva*. O mesmo problema também poderia, obtendo o mesmo resultado, ser resolvido por meio de uma *recursão regressiva*, ou seja, iniciando no estágio 3 até terminar no estágio 1. Ambas as abordagens resultam no mesmo fim, embora a literatura invariavelmente use da recursão regressiva por se acreditar que seus cálculos são mais eficientes. Qualquer que seja o motivo, a *recursão regressiva* para o exemplo é representada na Equação 7 (TAHA, 2008).

$$f_n^*(s_n) = \underset{d_n}{\text{mín}}\{r_n(s_n, d_n) + f_{n+1}^*(s_{n+1})\}, n = 3, 2, 1 \quad (7)$$

Como um adendo ao que foi ressaltado no capítulo anterior, sobre a ordem dos estágios nos diagramas de Ravindran, Phillips e Solberg (1987). No material dos autores a denominação

das Equações 6 e 7 aparece invertida, sendo a primeira a que representa uma *recursão regressiva* e a segunda a que representa a *recursão progressiva*.

2.1.4 Resolução Tabular

Os problemas de PD podem ser solucionados de maneira tabular por meio de uma tabela, como a da Figura 7. Tendo em mente a recursão regressiva, o procedimento de resolução estará finalizado quando for preenchida a tabela do estágio 1. E todas as decisões ótimas estarão registradas na coluna d_n^* (HILLIER; LIEBERMAN, 2013).

Figura 7 - Tabela base para a resolução tabular de problemas de PD

| | | | | |
|---------------|--|--|--------------|---------|
| s_n \ d_n | $f_n(s_n, d_n) = r_n(s_n, d_n) + f_{n+1}^*(s_{n+1})$ | | $f_n^*(s_n)$ | d_n^* |
| | | | | |
| | | | | |

Fonte: adaptado de Hillier e Lieberman (2013)

Para exemplificar a aplicação das tabelas, será apresentada a resolução do problema do caminho mais curto como *recursão regressiva*. Desta forma a resolução inicia pelo Estágio 3, onde os nós 5 e 6 estão ligados à apenas o nó 7. Sendo a única decisão possível ir até o nó 7, então, os resultados do estágio 3 estão ilustrados na Figura 8 (TAHA, 2008).

Figura 8 - Tabulação do Estágio 3

| | | | | |
|---------------|--|--|--------------|---------|
| s_3 \ d_3 | $f_3(s_3, d_3) = r_3(s_3, d_3) + f_4^*(s_4)$ | | $f_3^*(s_3)$ | d_3^* |
| | $d_3 = 7$ | | | |
| 5 | 9 + 0 | | 9 | 7 |
| 6 | 6 + 0 | | 6 | 7 |

Fonte: adaptado de Taha (2008).

No estágio 2 os nós 2, 3 e 4 estão ligados aos 5 e 6, com exceção do nó 2 e 6 que não estão ligados. A Figura 9 mostra as decisões ótimas no estágio (d_2^*), dados os estados iniciais (s_2). Onde a decisão ótima caso se esteja nos nós 2 ou 4 é ir para o nó 5, e caso se esteja no nó 3 é ir para o nó 6 (TAHA, 2008).

Figura 9 - Tabulação do Estágio 2

| | | | | |
|---------------|--|-------------|--------------|---------|
| s_2 \ d_2 | $f_2(s_2, d_2) = r_2(s_2, d_2) + f_3^*(s_3)$ | | $f_2^*(s_2)$ | d_2^* |
| | $d_2 = 5$ | $d_2 = 6$ | | |
| 2 | 12 + 9 = 21 | — | 21 | 5 |
| 3 | 8 + 9 = 17 | 9 + 6 = 15 | 15 | 6 |
| 4 | 7 + 9 = 16 | 13 + 6 = 19 | 16 | 5 |

Fonte: adaptado de Taha (2008).

Finalizando a resolução no estágio 1, a tabela da Figura 10 tem apenas um estado inicial, mas três destinos possíveis. Levando em consideração $f_2^*(s_2)$, a decisão ótima d_1^* é ir do nó 1 para o nó 4 (TAHA, 2008).

Figura 10 - Tabulação do Estágio 1

| $s_1 \backslash d_1$ | $f_1(s_1, d_1) = r_1(s_1, d_1) + f_2^*(s_2)$ | | | $f_1^*(s_1)$ | d_1^* |
|----------------------|--|---------------|---------------|--------------|---------|
| | $d_1 = 2$ | $d_1 = 3$ | $d_1 = 4$ | | |
| 1 | $7 + 21 = 28$ | $8 + 15 = 23$ | $5 + 16 = 21$ | 21 | 4 |

Fonte: adaptado de Taha (2008).

Recapitulando as decisões ótimas de cada tabela, o caminho ótimo é $1 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 7$ (TAHA, 2008).

2.1.5 Dimensionalidade

No problema do caminho mais curto o estado em qualquer estágio é representado por uma única variável. Entretanto, o emprego da PD pode se tornar complexo com aumento no número de variáveis, já que isso implicaria acréscimo de cálculos necessários. A relação direta entre o aumento do número de estados e o aumento na quantidade de cálculos fica clara se levada em consideração a resolução tabular dos problemas, na qual cada linha corresponde a todas as combinações possíveis das variáveis de estado (TAHA, 2008; ARENALES; ARMENTANO, *et al.*, 2007).

Um exemplo desse fenômeno pode ser visualizado na resolução de um problema hipotético de 10 estágios com 5 possíveis estados em cada um, em que cada estado possui 5 elementos que o descrevem. Essa configuração exige 250 operações matemáticas ($5 \times 5 \times 10$) para solucionar o sistema por meio da PD, e se apenas uma variável de estado com mais 5 elementos for incluída em cada estágio, esse número sobe para 1250 ($5 \times 5 \times 5 \times 10$) (RAVIDRAN; PHILLIPS e SOLBERG, 1987). Esse fenômeno foi conveniente denominado de “Maldição da Dimensionalidade” (HILLIER; LIEBERMAN, 2013).

Quanto às maneiras de como contornar essa limitação da ferramenta, técnicas para a diminuição do espaço de estados são assuntos recorrentes para aqueles que se interessam em problemas de PD em grande escala. Uma destas, proposta inclusive por Bellman, se baseia no uso de Multiplicadores de Lagrange para limitar as restrições do problema à apenas uma (RAVIDRAN; PHILLIPS e SOLBERG, 1987). Um exemplo da aplicação da técnica, segundo Arenales, Armentano et al (2007), pode ser encontrado no trabalho de Christofides e Hadjiconstantinou (1995), onde multiplicadores de Lagrange são aplicados em conjunto com uma otimização de subgradiente, para o problema do corte de chapas.

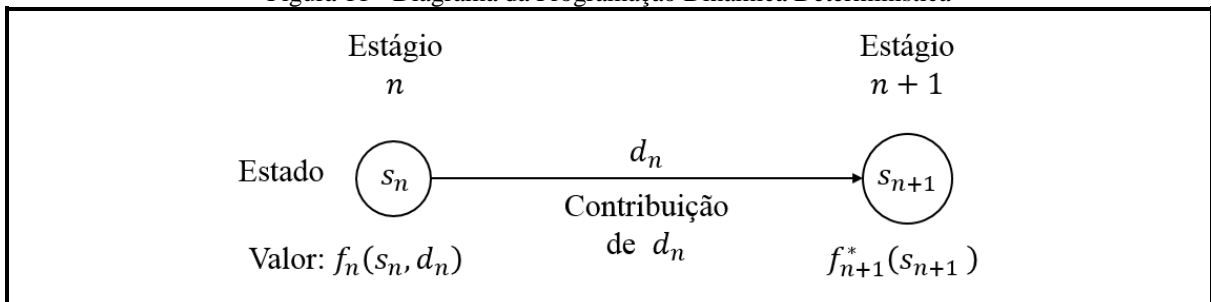
2.1.6 Problemas Determinísticos e Estocásticos

O exemplo apresentado para construir os conceitos da PD mostra a aplicação da ferramenta em problemas *determinísticos* (TAHA, 2008), nos quais, o estado do estágio seguinte é determinado apenas pelo estado atual e decisão tomada (HILLIER; LIEBERMAN, 2013). Todas as variáveis podem ser determinadas com considerável exatidão a qualquer momento, ou seja, não há variáveis aleatórias (RAVIDRAN; PHILLIPS e SOLBERG, 1987).

Os problemas de programação dinâmica determinística podem ser categorizados quanto à forma da sua função objetivo e quanto ao seu conjunto de estados. Suas funções podem ter como objetivo tanto minimizar a soma dos retornos dos estágios individuais, quanto maximizar essa soma, além de aceitar outras operações, como subtração, multiplicação e divisão. Seus estados podem ser discretos, contínuos ou serem formados por um vetor-estado, nos casos em que há mais de uma variável (HILLIER; LIEBERMAN, 2013).

A Figura 11 é um diagrama de como a programação dinâmica determinística funciona, para um estágio n com recursão regressiva. Dado o estado s_n , a decisão d_n é tomada e o sistema avança para um estado s_{n+1} no estágio $n + 1$. Considerando que a decisão tomada foi ótima e a contribuição ótima a partir do estágio $n + 1$ é $f_{n+1}^*(s_{n+1})$, a contribuição ótima $f_n^*(s_n)$ do estágio n à função objetivo pode ser encontrada (HILLIER; LIEBERMAN, 2013).

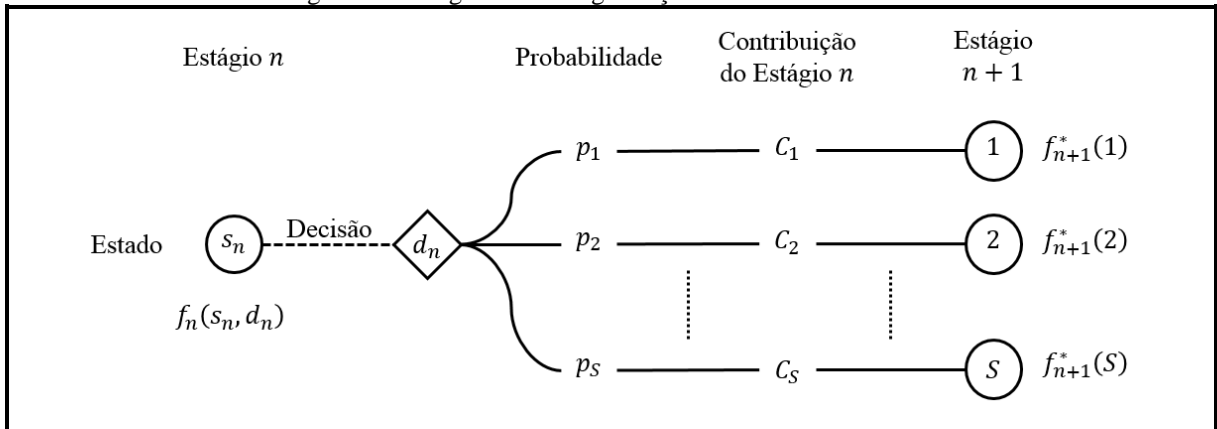
Figura 11 - Diagrama da Programação Dinâmica Determinística



Fonte: adaptado Hillier e Lieberman (2013)

A Programação Dinâmica Estocástica (ou probabilística) tem os mesmos elementos que a Determinística. O que difere desta é a natureza probabilística associada aos seus estados e retornos (TAHA, 2008). Nesses casos os estados seguintes deixam de ser totalmente dependentes do estado atual e da decisão, e passam também estar sujeitos à uma distribuição de probabilidade (HILLIER; LIEBERMAN, 2013). A Figura 12 descreve, por meio de um diagrama, o funcionamento da PD Estocástica.

Figura 12 - Diagrama da Programação Dinâmica Estocástica



Fonte: adaptado Hillier e Lieberman (2013)

Considerando S como o conjunto de estados possíveis em $n + 1$, e que a decisão d_n pode resultar em i ($i = 1, 2, \dots, S$) estados em $n + 1$, a probabilidade de o sistema avançar para um desses estados é dada por p_i , e cada probabilidade tem uma contribuição específica C_i caso venha a acontecer. Dada sua estrutura, a relação entre $f_n(s_n, x_n)$ e $f_{n+1}^*(s_{n+1})$ se torna mais complicada. Supondo que o objetivo seja minimizar a soma esperada das contribuições dos estágios, $f_n(s_n, x_n)$ pode ser descrito pela Equações 8 e 9 (HILLIER; LIEBERMAN, 2013).

$$f_n(s_n, x_n) = \sum_{i=1}^S p_i [C_i + f_{n+1}^*(s_{n+1})] \quad (8)$$

Com,

$$f_{n+1}^*(i) = \min_{d_{n+1}} f_{n+1}(i, d_{n+1}) \quad (9)$$

Quando a Figura 12 engloba todos os estágios e estados possíveis ela é comumente denominada de árvore de decisões, e dependendo do quão grande for pode fornecer uma maneira útil de sintetizar muitas possibilidades (HILLIER; LIEBERMAN, 2013). A Programação Dinâmica Probabilística normalmente é encontrada em modelos de estoque estocástico e Processos de Decisão Markovianos (TAHA, 2008), ambos fora do escopo desse trabalho.

2.2 SEQUENCIAMENTO DE DISCIPLINAS

Os estudos sobre Sistemas de Recomendação (*Recommender Systems*) iniciaram com a publicação do primeiro artigo sobre filtros colaborativos (*Collaborative Filtering*), em meados dos anos 90. Desde então vêm sendo empregados para facilitar a tomada de decisão de usuários, que buscam produtos ou serviços (PARK; KIM, *et al.*, 2012). Transformam dados de

usuários, como suas preferências e histórico de compras, em previsões do que estes podem vir a gostar ou querer futuramente. A maneira básica para alcançar esse objetivo, é indicando para o usuário itens que outros usuários parecidos com ele gostaram (LÜA; MEDO, *et al.*, 2012).

No campo educacional esses sistemas ganharam popularidade com o surgimento dos sistemas de educação à distância, assistindo alunos na escolha de matérias, materiais ou atividades de seus interesses (LU; WU, *et al.*, 2015). Entretanto, quando o objetivo é recomendar sequências de disciplinas, as dificuldades vão além das dos tradicionais sistemas de recomendação. O próprio ato de recomendar uma sequência pode tornar o problema muito desafiador, já que o espaço de decisão cresce combinatoriamente, à medida que a quantidade de disciplinas cresce. Apesar das combinações destas poderem ser variadas, também é preciso respeitar as restrições de pré-requisito. Por fim, as recomendações têm que ser dinâmicas, se adaptando aos diferentes perfis e graus de completude do curso dos diferentes alunos (XU; XING e SCHAAR, 2016).

A solução proposta por Xu, Xing e Schaar (2016) constrói a recomendação adequada em duas etapas, a primeira offline e a segunda online. Primeiramente, é selecionado um conjunto de políticas de recomendação que maximizem a probabilidade de o aluno concluir o curso sem atrasos. Em seguida, uma das políticas é selecionada para o aluno, julgada adequada com base no perfil dele e no conhecimento adquirido dos dados de outros estudantes.

Para sequenciar as disciplinas, uma abordagem por meio da Programação Dinâmica é adotada, levando em consideração o nível de completude do currículo do aluno, as relações de pré-requisitos entre as disciplinas e o período em que estas são ofertadas, onde a função objetivo visa maximizar a o índice GPA (*Grade Point Average*) do aluno (XU; XING e SCHAAR, 2016).

Será apresentada apenas a metodologia da etapa *offline*, visto que a etapa *online* foge do escopo deste trabalho. Também é importante ressaltar que a metodologia adotada pelos autores se enquadra em uma Programação Dinâmica Estocástica, já que lida com probabilidades de transição, enquanto a deste trabalho será determinística, ou seja, sem probabilidades de transição. Mas, se considera importante a revisão da metodologia completa da etapa *offline* para melhor contextualizar a diferença entre os dois trabalhos. Este trabalho utiliza muito mais os moldes da definição do problema dos autores do que a abordagem probabilística que propõem.

2.2.1 Definição do Problema

Um currículo é composto por um conjunto de disciplinas $\mathcal{N} = \{1, 2, \dots, N\}$, das quais M disciplinas são obrigatórias e $E = N - M$ são eletivas. O aluno cursa as disciplinas trimestre

a trimestre, sendo estes indexados por $t = 1, 2, \dots, T$. As disciplinas que ele cursou e passou no final de um determinado trimestre t são definidas pelo vetor de estado $s(t)$. No qual, cada elemento é um valor binário, 1 (aprovado) ou 0 (reprovado). Sendo assim, $s_n(t) = 1$ significa que ele foi aprovado na disciplina n , do contrário ele foi reprovado (XU; XING e SCHAAR, 2016).

As disciplinas podem possuir pré-requisitos, ou seja, antes que elas sejam cursadas outras disciplinas específicas precisam ser cursadas. Essa relação é descrita por um grafo direto acíclico (DAG – *Directed Acyclic Graph*) definido por $\mathcal{G} = \langle \mathcal{N}, \mathcal{E} \rangle$, onde \mathcal{N} representam as disciplinas e \mathcal{E} as arestas. Uma aresta direta de m para n representa que m é pré-requisito de n . Onde $P(n) = \{m: m \rightarrow n \in \mathcal{E}\}$ é o conjunto de pré-requisitos de n . Esta só poderá ser escolhida se todos os elementos em $P(n)$ tiverem sido cursados e aprovados (XU; XING e SCHAAR, 2016).

A escolha de disciplinas a cada trimestre está condicionada à disponibilidade destas, sendo $\Gamma(t) \subseteq \mathcal{N}$ o conjunto de disciplinas ofertadas no trimestre t . Essas disciplinas por sua vez, precisam também fazer parte de um conjunto específico sujeito a t ao vetor de estado $s(t - 1)$. Levando em consideração também os pré-requisitos, o conjunto de disciplinas que o aluno pode escolher em t é definido pela Equação 10 (XU; XING e SCHAAR, 2016):

$$\mathcal{F}(t, s(t - 1)) = \{n: s_n(t - 1) = 0; n \in \Gamma(t); \forall m \in P(n), s_m(t - 1) = 1\} \quad (10)$$

O estudante pode escolher $A(t)$ disciplinas no trimestre, contanto que a quantidade seja menor ou igual à C e um subconjunto de $\mathcal{F}(t, s(t - 1))$. Sendo assim, o conjunto das possíveis combinações de disciplinas que ele pode escolher é definido pela Equação 11 (XU; XING e SCHAAR, 2016):

$$A(t, s(t - 1)) = \{A: A \subseteq \mathcal{F}(t, s(t - 1)); |A| \leq C\} \quad (11)$$

Ao fim de cada trimestre o aluno pode ter sido aprovado ou reprovado nas disciplinas que escolheu, dependendo da dificuldade destas e da quantidade que cursou simultaneamente. Sendo $W_n(k)$ a quantidade de alunos que cursaram a disciplina n com $k - 1$ outras, e $\widehat{W}_n(k)$ a quantidade destes que foram reprovados, então, a probabilidade de reprovação em n com k disciplinas simultâneas é dada pela Equação 12 (XU; XING e SCHAAR, 2016):

$$\epsilon_n(k) = \widehat{W}_n(k) / W_n(k) \quad (12)$$

O sistema alcança um estado terminal quando o estudante conclui o curso, sendo aprovado em todas as disciplinas obrigatórias e no número mínimo exigido de disciplinas eletivas. O conjunto destes estados é representado por \hat{S} e cada um pode possuir uma recompensa por ser alcançado em um trimestre específico, determinada por $U: \hat{S} \times \{1, 2, \dots, T\} \rightarrow \mathbb{R}$ (XU; XING e SCHAAR, 2016).

2.2.2 Definição da Política Ótima

Uma política de recomendação da sequência de disciplinas ($\pi(s, t)$) especifica quais disciplinas devem ser cursadas a seguir, dado que o estado atual é s e o trimestre é t . Pode ser dito que para uma política π em qualquer s e t , s evolui de forma estocástica já que o aluno ser aprovado ou não depende de uma distribuição de probabilidade. Logo, os estados terminais que podem ser alcançados também estão sujeitos à uma distribuição probabilística. Sendo $p_{\hat{s}, \tau}^{\pi}(s, t)$ a probabilidade de se alcançar o estado terminal \hat{s} no trimestre $\tau \geq t$, dados s e t iniciais, e o valor do estado s no trimestre t quando a política π é adotada é definido pela Equação 13 (XU; XING e SCHAAR, 2016):

$$V(s, t) = \sum_{\hat{s}, \tau \geq t} p_{\hat{s}, \tau}^{\pi}(s, t) U(\hat{s}, t) \quad (13)$$

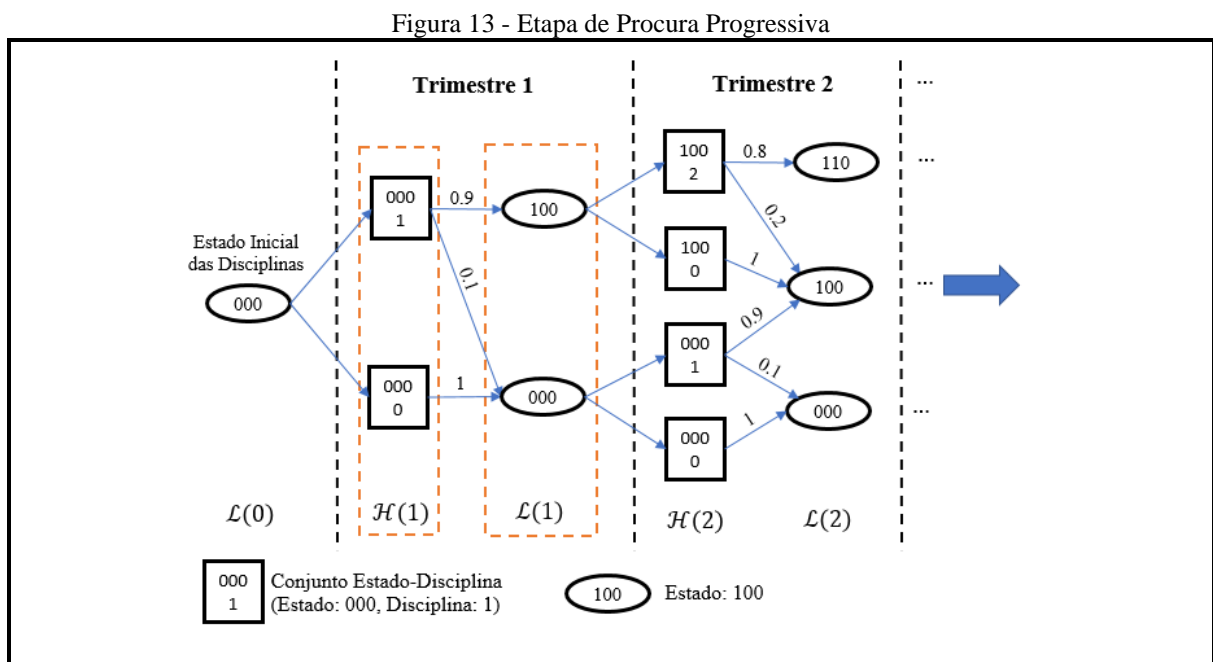
O objetivo do sistema é determinar a política ótima que maximiza o valor do estado inicial $s(0)$, ou seja, $\pi^* = \arg \max_{\pi} V(s(0), 1)$. O processo para a procura dessa política acontece em duas etapas, denominadas procura progressiva e indução regressiva respectivamente. Na primeira são determinados todos os possíveis estados do curso que podem acontecer ao longo do período 1 até o T , e na segunda é computado o conjunto ótimo de disciplinas que devem ser cursadas dados cada um dos estados possíveis (XU; XING e SCHAAR, 2016). Nos dois subcapítulos seguintes, ambas as etapas serão descritas.

2.2.2.1 Fase da Procura Progressiva

Dada a natureza da metodologia da Programação Dinâmica e as características do problema, a resolução dá-se por estágios. A cada período t , são considerados dois conjuntos de estados. Sendo o conjunto dos possíveis estados ao final do período denominado $\mathcal{L}(t)$, e o dos pares de estados iniciais e disciplinas escolhidas no período denominado $\mathcal{H}(t)$. A cada período, dados os estados não terminais $s(t-1) \in \mathcal{L}(t-1)$, a dupla de estados e disciplinas $(s(t-1), A)$ é inserida em $\mathcal{H}(t)$. Em seguida, cada possível estado $s(t)$ proveniente de $(s(t-1), A)$ é incluído em $\mathcal{L}(t)$, assim como a probabilidade de $s(t-1)$ progredir para $s(t)$. Tal probabilidade é determinada pela Equação (14) (XU; XING e SCHAAR, 2016).

$$p(s(t)|s(t-1), A) = \prod_{n:n \in A, s_n(t)=1} (1 - \epsilon_n(|A|)) \prod_{n:n \in A, s_n(t)=0} \epsilon_n(|A|) \quad (14)$$

Considerando um curso hipotético composto por apenas três disciplinas, a Figura 13 ilustra o processo executado pelo algoritmo de procura progressiva. Cada círculo representa o status de conclusão das três disciplinas, e cada retângulo, a dupla de estado e disciplina escolhida naquele período. Por exemplo, o círculo com a sequência 100 significa que o aluno cursou e foi aprovado na primeira disciplina, enquanto o retângulo com 000 e 1 significa que dado o estado 000 a disciplina 1 foi escolhida para ser cursada no período atual (XU; XING e SCHAAR, 2016).



Fonte: adaptado de Xu, Xing e Schaar (2016)

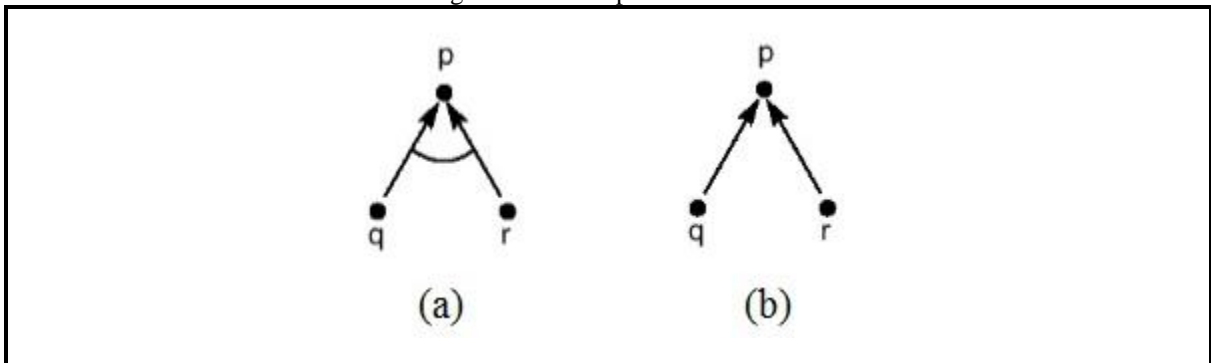
Os valores nas arestas que ligam os pares de estado-disciplina (retângulos) e os estados (círculos) representam as probabilidades de transição, já que o aluno pode ou não ser aprovado na disciplina. Enquanto as que ligam os estados ao fim de um período às duplas de estado-disciplina do seguinte não possuem valor, já que representam a escolha de cursar uma disciplina dado o estado final do período anterior.

2.2.2.2 Fase da Indução Regressiva

O resultado do término da fase de procura progressiva é um grafo E/OU , no qual os nós E são as duplas de estado e disciplinas (s, A) e os nós OU são os estados contidos em $\mathcal{L}(t)$ (XU; XING e SCHAAR, 2016). Grafos E/OU são grafos de espaço de estado que contém informações lógicas, diferenciando seus nós entre nós E e nós OU . Supondo que as proposições

p , q e r são ligadas por implicações lógicas representadas por \rightarrow , $q \rightarrow p$ infere que p é verdadeira se q for verdadeira e $r \rightarrow p$ que p é verdadeira se r for verdadeira. Se q e r forem nós E , p só será verdadeira ambas forem também. Já se forem nós OU , apenas uma precisa ser verdadeira para que p seja verdadeira. Ambas as relações são representadas graficamente na Figura 14, nós E (a) e nós OU (b). A única diferença, é que quando os nós são E suas aristas são ligadas por um arco (LUGER, 2013)

Figura 14 - Exemplo Grafo E/OU



Fonte: adaptado de Luger (2013).

Tendo o grafo estruturado, é possível determinar as sequências ótimas de disciplina por meio de uma varredura do período T para o t . Cada nó é rotulado com pesos distintos denominados Q e V , para os nós OU e E respectivamente. Estes pesos são zerados, exceto nos nós terminais que recebem o seu valor de recompensa U correspondente. Então, para cada período os valores Q de cada nó $E \in \mathcal{H}(t)$ são atualizados com base nos valores V dos nós $OU \in \mathcal{L}(t)$, por meio da Equação (15). Em paralelo, por meio da Equação (16) os valores V dos nós $OU \in \mathcal{L}(t-1)$ são atualizados com os valores ótimos dos nós $E \in \mathcal{H}(t-1)$ diretamente ligados a eles. À medida em que esse processo acontece, as combinações são armazenadas na política ótima de recomendação, representada pela Equação (17) (XU; XING e SCHAAR, 2016).

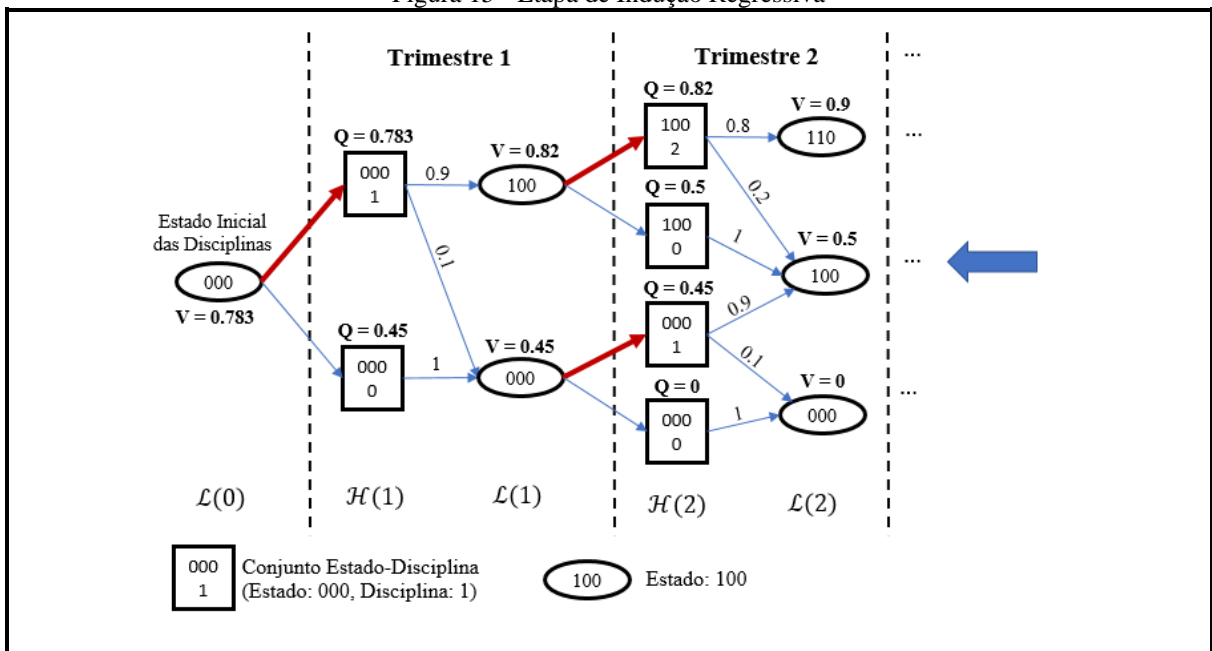
$$Q(s, t, A) = \sum_{s' \in \mathcal{L}(t)} p(s'|s, A) V(s', t) \quad (15)$$

$$V(s, t-1) = \max_A Q(s, t, A) \quad (16)$$

$$\pi^*(s, t-1) = \arg \max_A Q(s, t, A) \quad (17)$$

A Figura 15 ilustra o processo de resolução descrito acima, baseando-se na mesma rede ilustrada pela Figura 13.

Figura 15 - Etapa de Indução Regressiva



Fonte: adaptado de Xu, Xing e Schaar (2016)

Nesse pequeno período representado na figura, o valor ótimo do estado $s(0)$ é determinado como 0,783. Seguindo as decisões ótimas representadas pelas setas vermelhas mais espessas que as demais, a recomendação é que o estudante faça a primeira disciplina e depois a segunda. Após esta etapa o processo passa para a etapa *online*, mas como já foi frisado foge do escopo deste trabalho e não será referenciado.

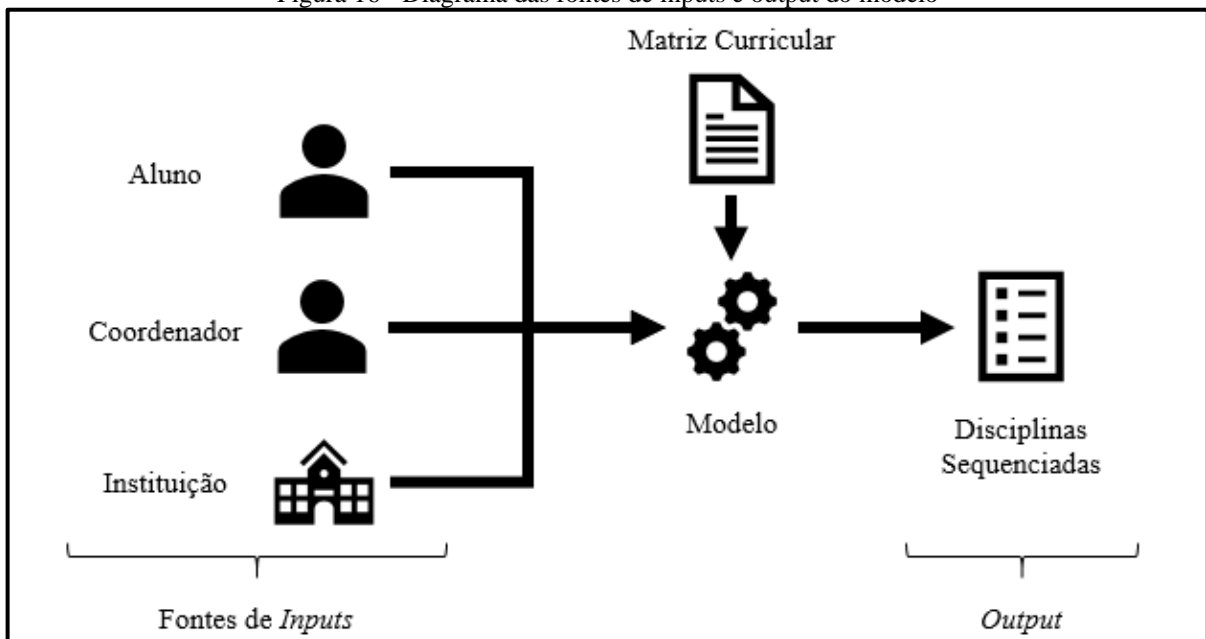
3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento desse trabalho foi dado foco em apenas um curso e currículo, já que muitas características estruturais das grades curriculares são compartilhadas na instituição. Nelas, as disciplinas estão agrupadas por períodos em que o aluno deve cursá-las, no caso da UCS estes períodos são semestres. As relações de pré-requisito entre disciplinas são comuns na maioria das grades, bem como a presença de disciplinas eletivas ou optativas.

O curso em que o trabalho focou é o de Bacharelado em Engenharia Mecânica, um dos mais antigos a compor a Área do Conhecimento de Ciências Exatas e Engenharias. No qual, assim como em outros cursos, por vezes o Coordenador age como orientador de matrícula, indicando para os alunos quais disciplinas ele deve cursar para atingir seus objetivos e tentando entender as necessidades de cada um deles. Assim, caindo sobre ele a responsabilidade de conciliar as expectativas dos estudantes, restrições da intuição e da própria oferta de disciplinas, já elas podem ter oferta semestral ou anual.

O modelo proposto precisou conciliar essas diferentes necessidades e restrições, de maneira que o sequenciamento gerado satisfizesse os atores envolvidos no processo e retirasse do coordenador a carga completa da recomendação ao aluno, cabendo a ele mais o ajuste de casos especiais e o fortalecimento da relação pedagógica. A Figura 16 expõe o diagrama conceitual com os atores que provêm os *inputs* ao modelo, que por sua vez com a matriz curricular como referência gera um *output* na forma das disciplinas sequenciadas.

Figura 16 - Diagrama das fontes de inputs e output do modelo



Fonte: O Autor (2020).

A matriz curricular proveu informações como: semestres, disciplinas, pré-requisitos obrigatórios, pré-requisitos orientativos e co-requisitos. E uma análise das disciplinas que compõe cada semestre trouxe maior clareza de como a carga de estudo é distribuída na grade, e de quais são os tipos de disciplina que o aluno irá se deparar. Em um cenário real, os atores podem prover *inputs* como:

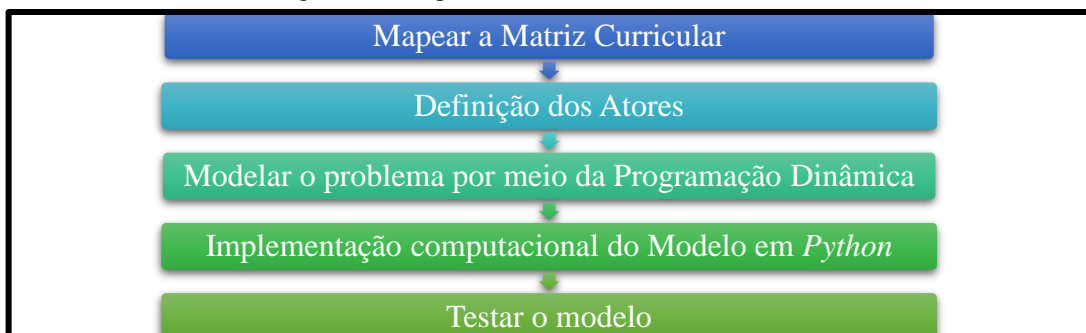
- a) Aluno: metas de conclusão, máximo e/ou mínimo de disciplinas que quer cursar por semestre, se está disposto em cursar disciplinas nas férias etc.;
- b) Coordenador: fornece informações das ofertas das disciplinas, também conhecida como programação acadêmica, como em quais semestres uma disciplina é ofertada ou não, e se alguma é ofertada nas férias. Eventualmente, identifica equivalências de disciplinas e realiza quebras de pré-requisito. E, também pode opinar nos máximos e mínimos de disciplinas que o aluno deve cursar;
- c) Restrições institucionais: restrições de máximos ou mínimos de disciplinas que devem ser cursadas pelos alunos. E, por meio dos seus sistemas de gestão acadêmica, o de histórico escolar dos alunos;

Todas essas informações servem a um único propósito, o de sequenciar as disciplinas restantes para a conclusão do curso do aluno. Eventuais alterações nas informações providas ao modelo podem alterar o sequenciamento, por exemplo, quando um sequenciamento não for atingível dada a meta de conclusão estipulada pelo estudante, este pode se dispor a cursar mais disciplinas por semestre e então ser gerado um novo sequenciamento com base nessa informação.

3.1 ETAPAS

Para que o objetivo geral e os específicos sejam atingidos, o trabalho foi realizado em etapas distintas, mas complementares. A Figura 17 apresenta quais são as etapas e a ordem em que ocorreram.

Figura 17 - Etapas do desenvolvimento do trabalho



Fonte: O Autor (2020)

O trabalho foi realizado apenas dentro da instituição, sem a necessidade de atividades externas. E as etapas não necessitaram de investimentos, já que não foram utilizados insumos ou licenças especiais para a utilização de linguagem de programação ou outros softwares.

3.1.1 Mapeamento da Matriz Curricular

A etapa do mapeamento da matriz curricular foi o ponto de partida do trabalho, na qual foram abordadas as disciplinas que compõem o currículo, quais delas fazem parte de qual semestre, suas carga-horárias e naturezas (obrigatórias, eletivas, optativas, estágios ou monografias), além das relações de pré-requisito existentes entre elas, que serviram, entre outros objetivos, para a determinação das disciplinas disponíveis a cada estágio do algoritmo de PD.

Em 2017 a instituição passou por um movimento de reestruturação curricular, por meio de abordagens desenvolvidas pela Universidade de Ciências Aplicadas de Turku (TUAS), da Finlândia e parceira da UCS (UCS, 2017), em que dentre suas ações, atualizou as grades curriculares dos cursos. Visando a manter a relevância e atualidade do trabalho, se escolheu trabalhar com essas matrizes novas, visto que as antigas não receberão novos alunos, e com tempo serão extintas. A matriz escolhida pode ser encontrada no ANEXO A, na forma da representação gráfica disponível na página da instituição.

As informações da matriz curricular foram tabuladas, com adaptações que serão esplanadas em capítulos futuros deste trabalho. Também, todos os caminhos existentes por meio das relações de pré-requisito foram tabelados.

3.1.2 Definição dos Atores

Nesta etapa foram definidas as informações (*inputs*) que os atores envolvidos no processo de sequenciamento podem prover para o modelo, e mapeados como estes podem afetar o objetivo final do sistema. O Aluno pode prover informações direta e indiretamente ao modelo, ele informará diretamente seus objetivos e preferências, como em quanto tempo quer se formar ou quantas disciplinas pretende cursar por semestre (máximo ou mínimo). E indiretamente, seu histórico acadêmico será utilizado para definir as disciplinas que ainda precisa cursar e há quanto tempo está no curso.

Já o Coordenador, no seu papel de representante do curso, pode prover informações referentes à programação das disciplinas e regras gerais do programa. Foram definidas quais informações ele pode acrescentar ao sistema, e discutido como ele poderá adaptar as informações de entrada do aluno e as restrições do currículo e da instituição, para que os objetivos do estudante sejam alcançados, tendo em vista que o sistema pode não encontrar uma

solução ótima, quando as expectativas do estudante não forem factíveis diante das restrições impostas a ele.

Por exemplo, disciplinas que têm relação de pré-requisito não podem ser cursadas simultaneamente, uma precisa ser cursada para que no próximo semestre a seguinte seja cursada. Essa condição pode gerar restrições ao tempo de conclusão, como no caso de três disciplinas, A, B e C, em que formam uma cadeia de pré-requisito ($A \rightarrow B \rightarrow C$). Nesse caso A precisa ser cursada em um semestre para que no seguinte B seja cursada, e somente em um terceiro semestre C poderá ser cursada, o que torna inviável a conclusão de curso em menos do que no mínimo três semestres, impedindo o alcance de uma meta de conclusão menor que essa.

Por fim, foram levantadas as orientações institucionais que podem ser traduzidas em restrições do modelo, dentre elas, qual o mínimo e máximo de disciplinas que o aluno pode cursar e qual o próximo semestre do ano letivo. Sendo a última, essencial quando aliada às informações da programação acadêmica providas pelo Coordenador.

3.1.3 Modelagem do problema por meio da Programação Dinâmica

A PD é um método aplicável a problemas de decisão que podem ser solucionados em estágios, em que as possíveis decisões em cada um deles é representado por um conjunto de estados. No problema específico deste trabalho, os estágios foram os semestres e os estados as combinações de disciplinas. No exemplo do problema do caminho mais curto apresentado no Capítulo 2, as arestas entre as cidades eram as distâncias entre elas. Entretanto, a distância entre as combinações de disciplinas é o período de um semestre, que se fosse utilizado como único critério para avaliação as transições de estado, teria acarretado muitas combinações como semestres e quantidades de disciplinas semelhantes, mas sem valorizar a ordem em que as disciplinas seriam cursadas.

Problemas de PD são divididos em estágios (n), o que no contexto deste trabalho significam os períodos, tanto os regulares (Ímpares/Pares) quanto os de férias (Verão/Inverno). Os estados (s_n) que compõem um estágio, por sua vez, foram considerados como sendo o conjunto de disciplinas pendentes, ainda não cursadas, do aluno. Em qual estado o aluno irá encontrar o sistema naquele estágio na prática, depende da decisão tomada no estágio anterior. As decisões (d_n) que podem ser tomadas, são as diferentes combinações das disciplinas pendentes que serão cursadas naquele estágio.

No estudo de Xu, Xing e Schaar (2016) as arestas eram as probabilidades de reprovação das diferentes combinações, mas não serão utilizadas probabilidades neste trabalho. Portanto nesta etapa, além de definir os estágios e estados, foi definido um método para avaliar

as diferentes combinações, identificando quais os critérios fazem parte desta avaliação, e como foi garantido que as melhores combinações fossem priorizadas corretamente. Por fim, foi definida a equação recursiva, característica da Programação Dinâmica.

3.1.4 Implementação computacional do modelo

Nesta etapa foi tratado da programação do sistema que realiza o sequenciamento, e em como se optou por abordar o problema computacionalmente, explanando como foram representados os atores, as disciplinas, o currículo e os elementos da Programação Dinâmica. Os paradigmas de programação escolhidos também foram descritos, juntamente com a estrutura macro do sistema.

Durante esse processo eram esperadas dificuldades devido à “Maldição da Dimensionalidade”, já citada no referencial teórico. Ela poderia impedir que uma solução para o problema fosse encontrada em uma velocidade aceitável, devido à explosão de estados poder ser exponencial. O capítulo explica como essa dificuldade foi contornada, e como o sistema se comporta devido a isso. Por fim, os processos decisórios que o sistema respeita para realizar o sequenciamento foram apresentados.

No estudo de Xu, Xing e Schaar (2016) os autores apresentam os algoritmos pelos quais solucionam o problema que propõe, o que difere deste trabalho. Enquanto neste trabalho pretende-se apresentar o funcionamento do sistema por meio de fluxogramas do processo decisório e por diagramas de como o sistema em si foi estruturado.

3.1.5 Teste do modelo

Acredita-se que testar a eficácia do modelo com usuários reais necessitaria um tempo grande de acompanhamento da vida acadêmica deles, portanto se optou por testar com perfis fictícios. Estes representam casos genéricos que um coordenador pode encontrar durante o processo de matrícula, mas suficientemente variados a ponto de estressar as funcionalidades do programa criado. Quando soluções viáveis não foram encontradas, adaptações aos inputs dos atores foram testadas e os resultados apresentados em seguida.

4 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

Neste capítulo serão apresentados os resultados das etapas resumidas no capítulo anterior, iniciando pelo mapeamento curricular e culminando nos testes com cenários fictícios, passando pela definição dos atores envolvidos no processo, modelagem do problema por meio da Programação Dinâmica (PD) e modelagem do software na linguagem *Python 3.0*.

4.1 MAPEAMENTO CURRÍCULAR

O conjunto de disciplinas que o aluno deve cursar para ser graduado como Engenheiro Mecânico está representado na matriz curricular do curso, ou plano de exceção curricular (PEC), juntamente com a quantidade de atividades complementares necessárias à sua formação. A matriz apresenta a carga-horária total do curso, majoritariamente composta pela soma da carga-horária das disciplinas que a compõem. É exigido também uma carga-horária mínima em atividades complementares e participação no ENADE².

As disciplinas são especificadas na matriz curricular e organizadas nos períodos em que devem ser cursadas. O curso em questão possui suas disciplinas dispostas em 10 períodos, os quais, por padrão da instituição, são organizados na forma de semestres. Sendo assim, caso a sequência proposta seja seguida o aluno obtém o grau em 5 anos.

As disciplinas estão subdivididas em obrigatórias, optativas e eletivas. Obrigatórias, como a denominação sugere, são aquelas que o aluno é obrigado a cursar e compõem a maior parte do programa. Disciplinas optativas são ofertadas como um conjunto de disciplinas todos os semestres, as quais o aluno opta por qual cursar. Se a oferta possuir cinco opções e a matriz exigir apenas três, o aluno só precisa cursar três das cinco, à sua escolha. Já nas eletivas as opções são menos restritas, podendo ser cursada uma disciplina fora do curso do aluno indicada pelo coordenador.

Há também a classificação das disciplinas quanto à formação, podendo ser de: formação geral, formação básica e específicas. As disciplinas gerais provêm um intercâmbio entre áreas, onde um aluno da área de ciências exatas pode cursar uma disciplina com alunos da área de ciências humanas por exemplo. E o conteúdo faz parte de uma visão geral que a instituição tem para os seus alunos. Já as de formação básica se referem ao conteúdo básico

² O Exame Nacional de Desempenho dos Estudantes (Enade) avalia o conhecimento dos concluintes dos cursos em relação aos conteúdos programados dos cursos, o desenvolvimento das suas habilidades e o nível da sua atualização dos seus conhecimentos num espectro local e mundial. O teste integra o Sistema Nacional de Avaliação da Educação Superior (Sinaes), sendo um dos componentes que permitem avaliar a qualidade do ensino superior no Brasil (INEP, 2019). É um componente curricular obrigatório, sendo necessário constar no histórico do aluno a realização ou dispensa da prova (UCS, 2020).

entre os cursos da mesma área, no caso das ciências exatas, matemática, física etc. Específicas por sua vez, são aquelas direcionadas para a formação do profissional do curso, sendo mais raros compartilhamentos entre cursos.

Essas informações constam na representação gráfica presente no ANEXO A, e foram tabeladas para melhor visualização no APÊNDICE A, sendo possível verificar quais disciplinas compõem a matriz, em quais semestres estão dispostas, qual seu nível de formação e seus tipos (obrigatória, eletiva ou optativa). Nos próximos subcapítulos serão tratadas as implicações das cargas-horárias das disciplinas, e dos pré-requisitos que parte delas possuem.

4.1.1 Carga-horária das disciplinas

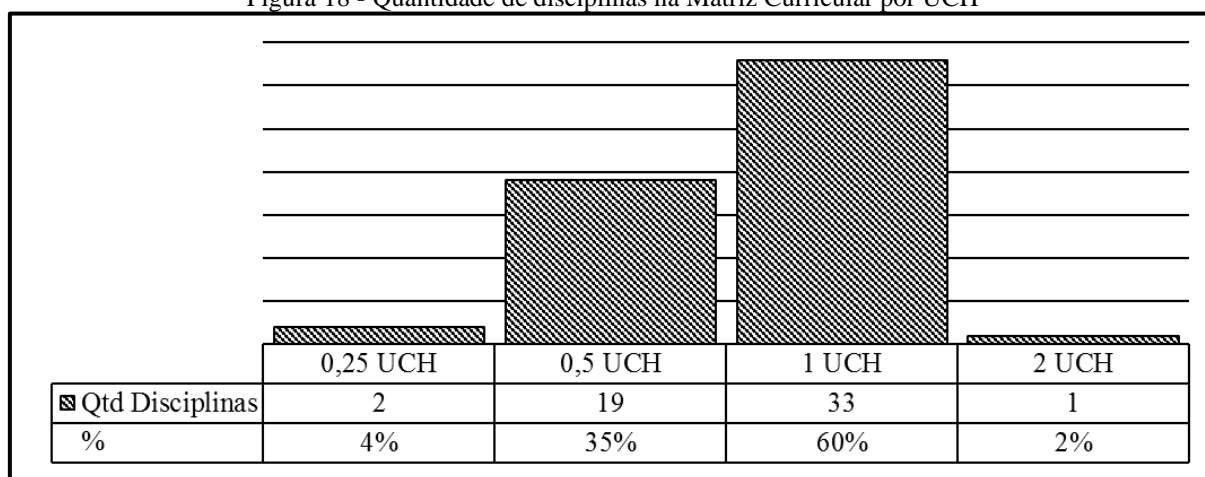
As disciplinas presentes na matriz são de 80 horas (80h) ou 40 horas (40h), com exceção de estágios e monografias. Na instituição, normalmente as disciplinas de 80h têm encontros semanais em um dia da semana específico durante todo o semestre. Um aluno que pode apenas ter aulas no turno da noite, consegue cursar uma disciplina de 80h por dia da semana. Considerando que as aulas à noite ocorrem apenas de segunda à sexta-feira, ele consegue cursar apenas cinco disciplinas por semestre.

Comparativamente, as disciplinas de 40 horas exigem metade do tempo de aula que as disciplinas de 80 horas, refletindo na duração das aulas e em como ocorrem os encontros. Ou as aulas têm a mesma duração que as aulas das de 80 horas, mas têm metade dos encontros. Ocorrem acumulados na primeira ou segunda metade do semestre, ou quinzenalmente (uma semana tem encontro e na outra não), ou as aulas têm metade da duração, mas ocorrem semanalmente durante todo o semestre. Isso possibilita que ocorram situações em que, por exemplo, em um semestre o aluno tenha duas disciplinas com encontros na segunda-feira. Sendo que uma tem encontros na primeira metade do semestre, e a outra na segunda metade.

Para os fins deste trabalho será definida uma unidade padrão para a carga-horária, que permite uma tradução direta para o peso que essas exercem no planejamento semestral dos alunos. Disciplinas de 80 horas equivalem a uma Unidade padrão de Carga-Horária (UCH), logo, as de 40 horas equivalem a 0,5 UCH. O denominador comum dessas duas simplificações é 80, e será aplicada as disciplinas de estágio e monografia.

A carga-horária total da matriz curricular do curso é de 45 UCH, as quais estão distribuídas como demonstrado na Figura 18. Com exceção de três *outliers*, o currículo é formado por uma maioria de disciplinas de 1 UCH e o restante com 0,5 UCH. O *outlier* com 2 UCH e os dois com 0,25 UCH são, respectivamente o projeto de estágio e os trabalhos de conclusão de curso (TCC I e TCC II).

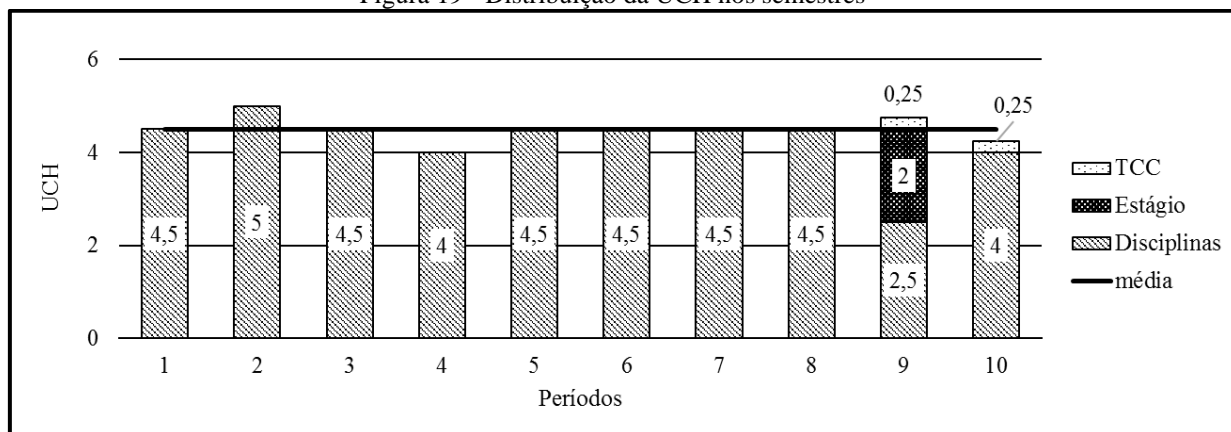
Figura 18 - Quantidade de disciplinas na Matriz Curricular por UCH



Fonte: O Autor (2020)

A distribuição da carga-horária nos períodos da matriz curricular está resumida na Figura 19, com o que representam as cargas-horárias de disciplinas, estágio e TCC mostra como a carga horária está distribuída nos dez períodos do curso. Com uma média de 4,5 UCH por período, podem ser observadas variações de no máximo 0,25 UCH acima desta e de 2 UCH abaixo. Com exceção destas variações, a carga em cada período da matriz aparenta estar balanceada.

Figura 19 - Distribuição da UCH nos semestres



Fonte: O Autor (2020)

O aluno que conseguir cursar as disciplinas na ordem proposta pela matriz, encontra uma carga de trabalho constante durante sua jornada. Entretanto, essa não é a realidade de todos os alunos. Há tanto aqueles que não conseguem atender o proposto pela matriz, quanto aqueles com meios para exceder a média de UCH por semestre. E essa condição também pode não ser constante, por exemplo, um aluno que começa cursando uma carga-horária baixa pode no decorrer dos períodos ir aumentando a carga-horária que cursa. O sequenciamento deve ser capaz de adaptar o plano de estudos proposto, às realidades dos alunos.

4.1.2 Pré-requisitos

Assim como um projeto qualquer é um conjunto de atividades inter-relacionadas que consomem tempo e recursos (TAHA, 2008), a matriz curricular enquanto projeto de graduação do aluno é composta por disciplinas inter-relacionadas com as quais ele deve dispender tempo e recursos para atingir a graduação. A inter-relação entre as disciplinas dá-se pela presença dos pré-requisitos. No ANEXO A pode ser identificado que podem existir três diferentes, sendo eles: Pré-requisitos Orientativos, Pré-requisitos Parciais, Co-requisitos, além de certas disciplinas possuírem um mínimo de carga-horária para serem cursadas. Com base em declarações dos profissionais da instituição, se chegou às definições abaixo para cada pré-requisito:

- a) *Pré-requisitos Orientativos*: disciplinas que devem ser cursadas antes desta, por exemplo: se a disciplina A é um pré-requisito orientativo da disciplina B, para B poder ser cursada, A já deve ter sido cursada;
- b) *Pré-requisitos Parciais*: são disciplinas que devem ser cursadas no mínimo ao mesmo tempo desta, por exemplo: se a disciplina C é pré-requisito parcial da disciplina D, para D ser cursada C já deve ter sido cursada ou estar sendo cursada no mesmo período;
- c) *Co-requisitos*: são disciplinas que devem ser cursadas ao mesmo tempo, por exemplo, se a disciplina E é co-requisito da disciplina F, para F ser cursada E deve estar sendo cursada no mesmo período;
- d) *Carga-horária Mínima*: é um mínimo de carga-horária que tem que ter sido cursada pelo aluno, em disciplinas que compõem a matriz.

De acordo com estas declarações, apesar das representações gráficas denominarem como “orientativos”, atualizações da matriz passaram a denominar partes destes pré-requisitos como “obrigatórios”. Isso implica que o aluno “tem” que seguir a determinação do pré-requisito, enquanto ele não tiver cursado os pré-requisitos de uma determinada disciplina ele não pode cursar a mesma. Enquanto com pré-requisitos orientativos, o aluno “deve” cursar os pré-requisitos de uma determinada disciplina, mas caso não tenha cursado, ele pode cursar ela mesmo assim.

Em uma situação de matrícula real então, o aluno poderia cursar uma disciplina sem cursar seus pré-requisitos orientativos. Mas para fins desse trabalho, o sistema não fará essa diferenciação entre orientativos e obrigatórios, porque se pretende que o modelo respeite o sequenciamento lógico da construção do conhecimento, definido pelas relações de pré-

requisito. Então, assim como o Coordenador recomendaria que o aluno cursasse os pré-requisitos antes para ter um melhor aproveitamento, o modelo fará o mesmo.

Na PO as atividades de um projeto e suas interrelações podem ser representadas por uma rede, onde os nós são as atividades e os arcos (ou setas) são as ligações entre elas. Essa rede pode possuir diferentes “caminhos” que ligam o seu nó inicial ao nó final, cujos comprimentos são dados pelo somatório da duração das atividades que façam parte deles (HILLIER; LIEBERMAN, 2013). Quando aplicado o conceito a um currículo, as disciplinas são os nós e os arcos são as relações de pré-requisitos entre elas, formando uma rede curricular de pré-requisitos (*Curriculum Prerequisite Network*) (ALDRICH, 2015).

A rede formada pelo currículo de Engenharia Mecânica possui 3 disciplinas iniciais que são pré-requisitos de outras disciplinas, mas tem pré-requisitos. Estas serão denominadas de disciplinas origem. Existem 15 disciplinas que são nós finais da rede, ou seja, têm pré-requisitos e não são um, e serão denominadas disciplinas destino. O Quadro 2 lista quais são as origens e destino da rede curricular, e entre parênteses está o período em que estão dispostas na matriz curricular.

Quadro 2- Disciplinas origem e destino

| Disciplinas ORIGEM | Disciplinas DESTINO |
|--|---|
| Desenho Técnico (1º) Tópicos de Ciências Exatas (1º) Química Experimental (1º) | Sistemas Articulados (7º) |
| | Processos de Usinagem (7º) |
| | Máquinas Térmicas (7º) |
| | Projeto Integrado: Modelagem Computacional (7º) |
| | Máquinas de Fluxo (8º) |
| | Refrigeração e Ar-Condicionado (8º) |
| | Processos de Conformação Mecânica (8º) |
| | Projeto de Sistemas Mecânicos II (9º) |
| | Processos Metalúrgicos (9º) |
| | Estágio em Engenharia Mecânica (9º) |
| | Eletiva (10º) |
| | Fundamentos de Acústica para Engenharia (10º) |
| | Análise de Investimentos em Engenharia (10º) |
| | Projeto Integrado: Produto e Fábrica (10º) |
| | Trabalho de Conclusão de Curso II (10º) |

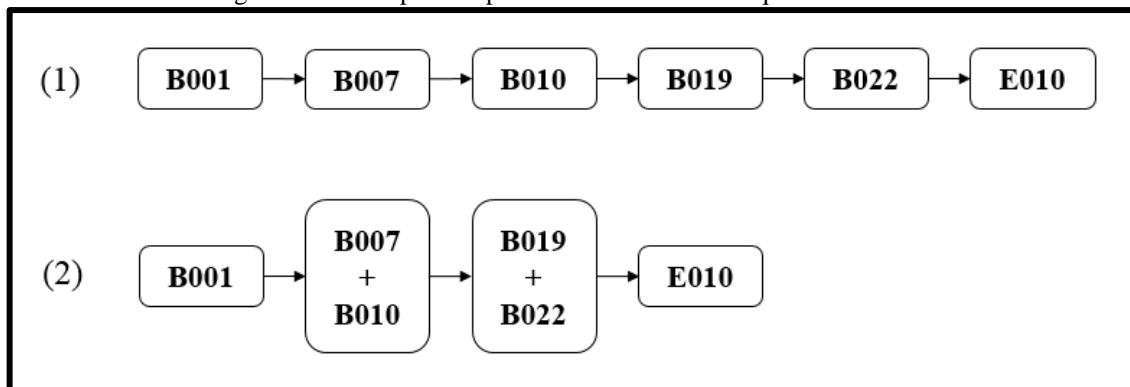
Fonte: O Autor (2020)

Analisando a rede de pré-requisitos foram contabilizados 54 caminhos entre as disciplinas origem e destino, todos listados no APÊNDICE B. Esse apêndice também apresenta o comprimento de cada um dos caminhos, ou seja, por quantas disciplinas eles são formados. Como cada disciplina leva um período para ser cursada, esse comprimento é análogo à duração do caminho. Portanto, em um caminho com 6 disciplinas o aluno leva 6 períodos para cursar.

Mas com a presença de relações de pré-requisitos parciais, o aluno tem a possibilidade de cursar ambas as disciplinas no mesmo período ao invés de cursar uma, para no período seguinte cursar a próxima.

A Figura 20 exemplifica um caso desse possível aproveitamento, onde no caso (1) cada disciplina é cursada separadamente e no caso (2) as disciplinas que têm um pré-requisito parcial são cursadas junto com eles. A informação dos caminhos que possibilitam isso está na última coluna do APÊNDICE B.

Figura 20 - Exemplo do aproveitamento dos Pré-requisitos Parciais

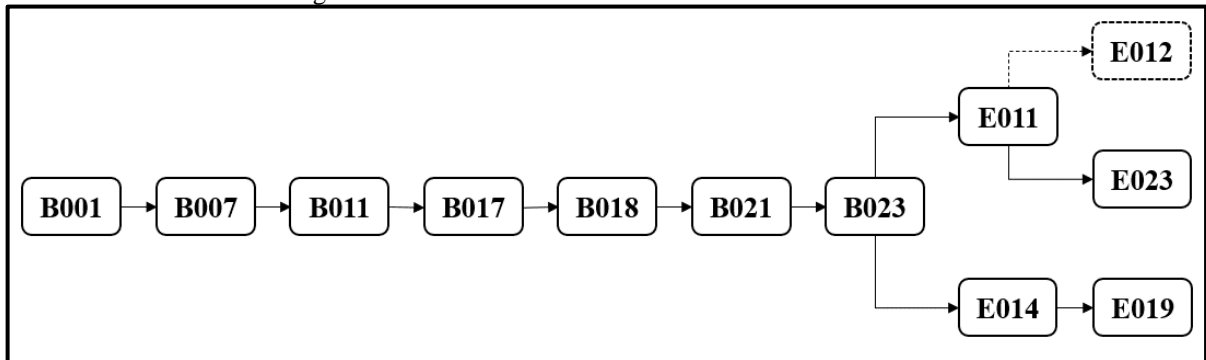


Fonte: O Autor (2020)

Em um projeto usual, a estimativa da sua duração é o comprimento do seu caminho mais longo. Esse caminho é denominado o *caminho crítico*, no qual atrasos tem que ser evitados para impedir atrasos no projeto como um todo (HILLIER; LIEBERMAN, 2013). No contexto desse trabalho esse conceito implica que, independentemente de quantas disciplinas o aluno cursar por período, o tempo mínimo que ele irá levar para se formar é igual ao comprimento do caminho crítico da matriz curricular do seu curso.

A Figura 21 - Caminho Crítico da Matriz Curricular do Curso Figura 21 mostra os caminhos críticos identificados na matriz curricular, os quais compartilham a disciplina origem, B001 (Tópicos de Ciências Exatas), mas tem disciplinas destino diferentes, E012 (Projeto Integrado: Modelagem Computacional), E019 (Projeto de Sistemas Mecânicos II) e E023 (Fundamentos de Acústica para Engenharia).

Figura 21 - Caminho Crítico da Matriz Curricular do Curso

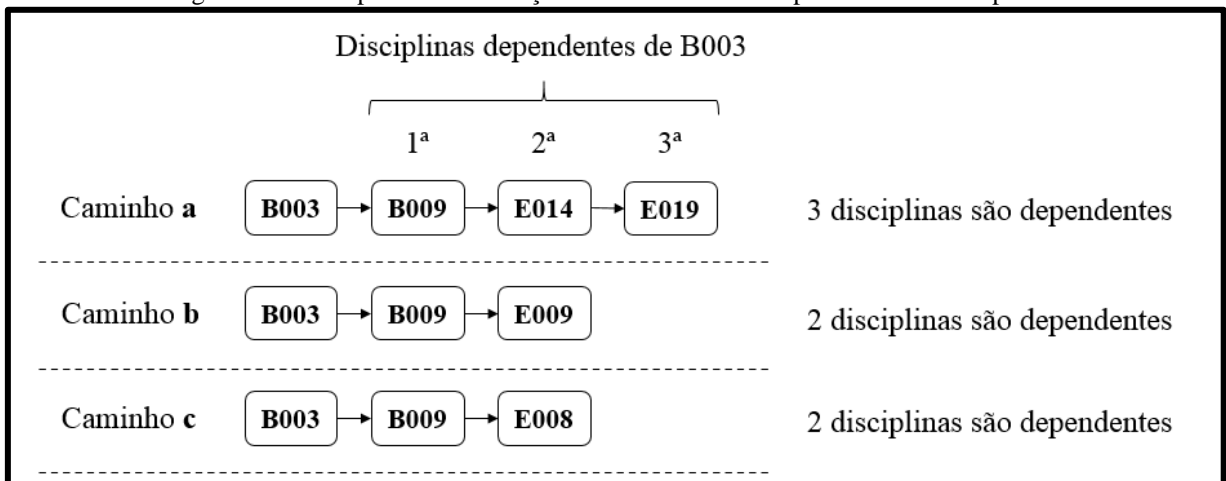


Fonte: O Autor (2020)

Todos esses caminhos têm duração de 9 períodos (mesmo número de disciplinas), entretanto o caminho de B001 até E012 pode durar 8 períodos, onde E011 é pré-requisito parcial de E012 (linha pontilhada), o que permite eles serem cursados no mesmo período, encurtando a duração do caminho caso isso aconteça, comparado aos caminhos que terminam em E023 e E019.

Além do caminho crítico também foram identificados quais os maiores caminhos a partir de cada disciplina da rede de pré-requisitos, seguindo o método representado na Figura 22. Tomando como exemplo a disciplina B003 (Desenho Técnico), a partir dela existem 3 caminhos que terminam em E019, E009 e E008, os quais só poderão ser seguidos, após B003 ter sido cursada. Logo, o comprimento de cada caminho, desconsiderando a própria disciplina B003, é o número de disciplinas dependentes desta em cada caminho.

Figura 22 - Exemplo da identificação do maior caminho a partir de uma disciplina



Fonte: O Autor (2020)

Essa verificação foi realizada em cada disciplina que faz parte da rede de pré-requisitos, e os resultados constam no Quadro 3.

Quadro 3- Maiores caminhos a partir das disciplinas que fazem parte da rede de pré-requisitos

| Disc. | Maior Cam. | Disc. | Maior Cam. | Disc. | Maior Cam. | Disc. | Maior Cam. | Disc. | Maior Cam. | Disc. | Maior Cam. |
|-------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|------------|
| B001 | 9 | B009 | 3 | B017 | 6 | B023 | 3 | E014 | 2 | B025 | 1 |
| B002 | 1 | B010 | 4 | B018 | 5 | E005 | 3 | E015 | 1 | E023 | 1 |
| B003 | 4 | B011 | 7 | E002 | 4 | E006 | 2 | E016 | 1 | E024 | 1 |
| B004 | 5 | B012 | 4 | G004 | 1 | E007 | 3 | E017 | 1 | E025 | 1 |
| B005 | 1 | B013 | 4 | B019 | 3 | E008 | 1 | E018 | 1 | E026 | 1 |
| E001 | 1 | B014 | 1 | B020 | 2 | E009 | 1 | E019 | 1 | | |
| G001 | 1 | B015 | 5 | B021 | 4 | E010 | 1 | E020 | 1 | | |
| B006 | 6 | G002 | 1 | E003 | 2 | E011 | 2 | E021 | 2 | | |

Fonte: O Autor (2020)

Essa identificação, e a do caminho crítico serão utilizadas como parâmetros para compor o retorno obtido pela recomendação das disciplinas.

4.2 ATORES

As disciplinas são aquilo que deve ser sequenciado por meio da PD nesse trabalho, e exceto pelas relações de pré-requisito, não existem outras informações de como devem ser sequenciadas. As informações necessárias para isso devem ser providas pelos atores envolvidos no processo de sequenciamento, aqueles com papel ativo e interesses diretos nele. Os mais óbvios são o Aluno e o Coordenador, já que é a vida acadêmica do primeiro que está sendo planejada e o segundo é o responsável pelo curso. Mas a Instituição será considerada um ator, já que ela (UCS) também tem interesse na formação do aluno ao mesmo tempo que é o ambiente dessa formação.

Os inputs definidos nesse capítulo são baseados em requisitos gerais que os atores podem ter, sem que haja a intenção de se adaptar completamente a todos os alunos e cursos da UCS. É considerado o contexto do curso e alunos de Engenharia Mecânica. A verificação do excesso ou falta de inputs necessitaria de uma análise de campo com acadêmicos e coordenadores, o que foge do escopo deste trabalho.

4.2.1 Aluno

O aluno é o ator com o maior envolvimento no processo de sequenciamento, tanto pela quantidade de informações que provê quanto por ser o mais afetado pelos resultados. O que está envolvido é parte do seu projeto de vida, que em maior ou menor grau envolve também suas famílias, empregos e futuro.

Parte das informações que farão parte dos inputs do aluno não são informadas por ele, mas sim buscadas no seu histórico escolar. Apesar de na prática quem provê essa informação é

a UCS, entretanto nesse trabalho será tratado como parte dos inputs do aluno, independente da sua fonte. Dito isso, os inputs provenientes do histórico escolar serão:

- a) Período atual: em qual período o aluno está do curso, cronologicamente e não pelo percentual de disciplinas cursadas. Ela é uma informação essencial para definir quais disciplinas estarão disponíveis em cada estágio da PD, visto que as disciplinas liberadas em um estágio da resolução têm que ser de períodos menores ou iguais ao período que o aluno estará naquele estágio;
- b) E histórico de disciplinas aprovadas: quais disciplinas da matriz curricular o aluno já cursou e foi aprovado.

Conceber um sequenciamento que se adeque às especificidades de cada aluno exigiria um grau de especialização do modelo que foge o escopo deste trabalho. A influência de fatores específicos no sequenciamento como gênero, desempenho acadêmico ou contexto social não serão abordados. Será dado foco em expectativas consideradas comuns à maior parte dos alunos, como: “Em quanto tempo ele quer se formar?”, “Está disposto a cursar disciplinas nas férias?” e “Quantas disciplinas quer fazer por período?”. Os inputs definidos para representar as expectativas dos alunos, foram:

- a) O Prazo de conclusão: Em quantos períodos ele quer concluir o curso (a partir do momento atual), sem contar disciplinas de férias;
- b) Disponibilidade nas férias: entre os períodos regulares acontecem os períodos de férias, de verão e inverno, em que disciplinas são ofertadas em turmas intensivas. O aluno deverá informar se está disposto a cursar essas turmas intensivas, e se o faria em ambos os períodos (Verão e Inverno) ou apenas em um deles (Verão ou Inverno). Na falta de definição, o sequenciamento ignorará as disciplinas de férias;
- c) Máximo e mínimo de disciplinas que pode cursar: são limites que o aluno defini para si mesmo, independente se a motivação é tempo ou financeira. Além de ser um parâmetro para que o sequenciamento não fuja da realidade do aluno, também diminui possibilidade de decisões disponíveis por estágio da PD. Já que ao invés de considerar todas as combinações possíveis entre as disciplinas possíveis num estágio, o espaço de procura estará entre os limites estabelecido pelo aluno.

A consideração das preferências do aluno não são garantia que elas serão atingidas em sua completude, porque quando relacionadas entre si podem ser expectativas irreais. Por exemplo, um aluno pode querer concluir o curso em dois períodos cursando no máximo 4

disciplinas por período, mas tem 10 disciplinas pendentes e não quer cursar nenhuma nas férias. Logo, em dois períodos ele terá cursado apenas 8, das 10 disciplinas pendentes, sendo impossível encontrar uma solução viável para o sequenciamento, dadas essas expectativas. Quando esse for o caso, caberá ao aluno e o coordenador encontrar pontos onde possam ser feitas concessões que permitam uma solução viável.

4.2.2 Coordenador

O coordenador detém, além do papel de guia e orientador, conhecimento sobre a programação das disciplinas do curso. Ele sabe quais disciplinas são ofertadas em todos os períodos, e as que acontecem apenas no primeiro período do ano ou no segundo, quais disciplinas são ofertadas nos períodos de férias de verão e inverno, equivalências com disciplinas de outros cursos e entre outras informações.

Além dessas informações, o curso pode ter interesse em opinar nos limites de disciplina do aluno, para evitar que o aluno curse muitas disciplinas, e acabe se sobrecarregando e reprovando em parte delas. Pela perspectiva oposta, o curso se beneficie que um mínimo de disciplinas por aluno seja mantido, ou que o aluno perderia engajamento com o curso caso cursa-se muito poucas disciplinas. Tendo estas situações em vista, os *inputs* que o coordenador pode informar são:

- a) Disciplinas programadas no semestre Par/Ímpar: são aquelas que acontecem apenas no primeiro semestre do ano (Ímpar), ou no segundo (Par). E serão considerados pela perpetuidade dos estágios do modelo de PD, ou a disciplinas está sempre disponível ou apenas em um dos dois tipos de períodos (Par ou Ímpar);
- b) Disciplinas programadas nas férias: são disciplinas que podem ser ofertadas nas férias (ambas, só no verão ou só no inverno), mas não impede que aconteçam nos períodos regulares também. Caso nenhuma disciplina aconteça nas férias, a disponibilidade do aluno para disciplinas de férias não terá efeito no sequenciamento;
- c) Máximo e mínimo de disciplinas que pode cursar: similar ao input do aluno, mas com o intuito de transmitir interesses do curso em manter um nível de matrícula dos alunos e impedir sobrecargas que gerem reprovações.

Optou-se por não considerar inputs muito específicos de programação, como de disciplinas que acontecem apenas em determinado período ou que tem padrões de programação

irregular. Esses são considerados casos especiais, e que podem ser implementados futuramente sem prejudicar os resultados desse trabalho.

4.2.3 Instituição

O último ator envolvido é a própria UCS, e enquanto instituição seus interesses devem ser refletidos em todas as áreas e cursos. No caso do sequenciamento de disciplinas optou-se por considerar que a instituição pode ter interesse em manter um mínimo de disciplinas matriculadas por aluno em cada período, e assim como o coordenador, evitar sobrecarga e reprovações limitando o máximo de disciplinas que o aluno pode cursar por período. Além de ser o ator que informa qual o próximo semestre regular, se é o primeiro (primeira metade do ano) ou o segundo (segunda metade). Sendo assim a instituição poderá informar apenas:

- a) Máximo e mínimo de disciplinas que pode cursar: com objetivos semelhantes ao mesmo input do coordenador, é o único parâmetro que será considerado da instituição.
- b) Próximo semestre regular: tem o objetivo de posicionar temporalmente o sequenciamento, o que é muito importante para a consideração de alguns dos inputs dos demais atores, como a possibilidade de disciplinas nas férias que o Aluno indica, e as programações semestrais que o Coordenador pode informar.

Esse foi considerado o único input, para que fosse um aplicável a outros cursos e áreas diferentes do que é o foco deste trabalho. A instituição pode ter interesses diferentes em áreas diferentes, mas como não será tratada dessa diferença nesse trabalho optou-se por não se aprofundar nas diferenças para não aumentar a complexidade do modelo. Também se optou por considerar que a instituição tem influência na programação das disciplinas nos períodos, para que não ocorram conflitos com os inputs do coordenador.

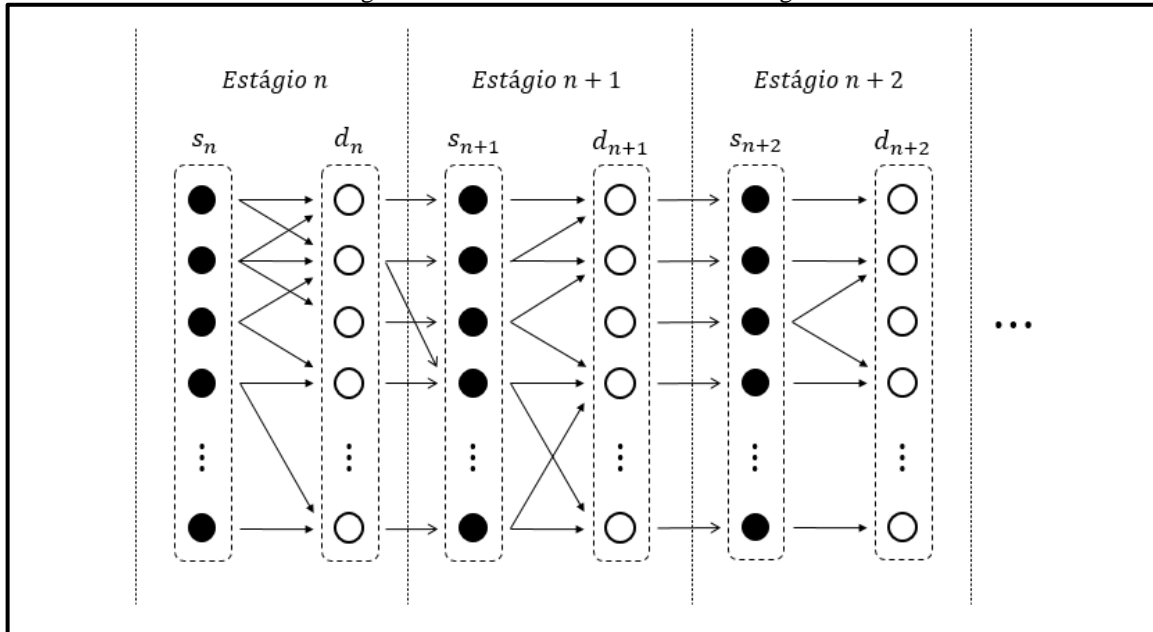
4.3 MODELAGEM POR MEIO DA PROGRAMAÇÃO DINÂMICA

Optou-se por utilizar a *recursão progressiva* para a aplicação da PD deste trabalho, portanto o problema é solucionado da esquerda para a direita. Partindo das disciplinas que o aluno tem pendentes, o estágio 1 é solucionado, em seguida o estágio 2, e assim por diante até uma solução ser encontrada ou até atingir a meta de períodos do aluno.

Quando uma decisão for tomada em um estágio as disciplinas pendentes, desconsiderando as que fazem parte da decisão, se tornam o estado encontrado no estágio seguinte. A Figura 23 representa como o fluxo pode acontecer nos estágios, da esquerda para a direita. No *Estágio n* podem ser encontrados os possíveis estados do sistema naquele estágio

(s_n), com base nos quais podem ter tomadas decisões (d_n) que resultarão nos estados (s_{n+1}) encontrados no período seguinte (*Estágio n + 1*). Dado que s'_n é um dos estados encontrados no estágio n e d'_n é o conjunto de disciplinas escolhidas para serem cursadas, logo o estado encontrado no estágio seguinte s'_{n+1} é a diferença entre esses dois conjuntos ($s'_{n+1} = s'_n - d'_n$).

Figura 23 - Estrutura da Divisão dos Estágios



Fonte: O Autor (2020)

O objetivo final do modelo é que a(s) melhor(es) sequência(s) de decisões que resultem na conclusão de curso sejam indicadas para o aluno, ou seja, sejam recomendadas as *políticas ótimas*. Incluindo a característica já citada, uma política é considerada ótima quando possui as seguintes características:

- Resultar na conclusão do curso;
- Priorizar disciplinas do caminho crítico;
- Priorizar disciplinas com os maiores caminhos de dependentes;
- Priorizar disciplinas com maior atraso (*atraso = semestre do estágio – semestre da disciplina*).

Exceto a característica de resultar na conclusão de curso, as demais foram traduzidas para na função de retorno da decisão. O peso que uma disciplina tem na função de retorno considera 3 variáveis:

$$p_1 = \text{atraso} = \text{semestre do estágio} - \text{semestre da disciplina} + 1 \quad (18)$$

$$p_2 = \text{maior cadeia de disciplinas dependentes} + 1 \quad (19)$$

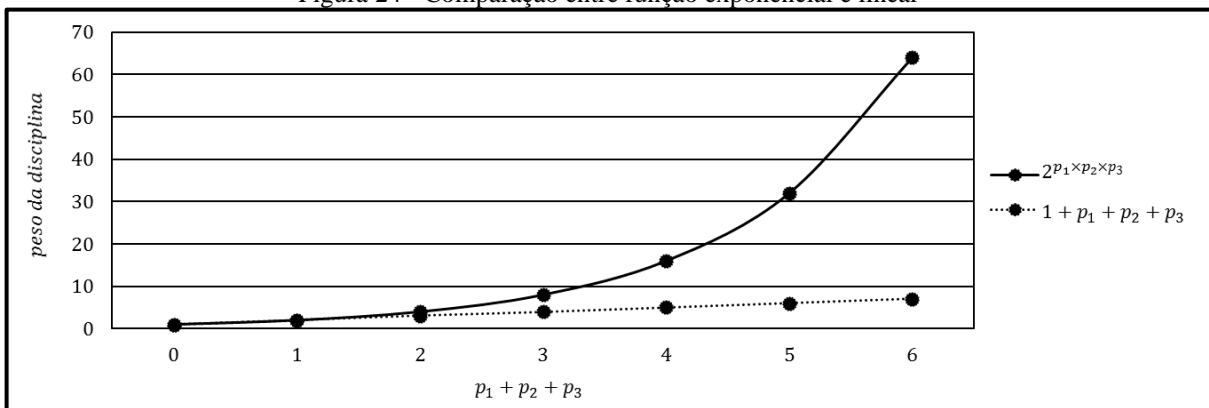
$$p_3 = \begin{cases} 5 & \text{se é crítica} \\ 1 & \text{se não é crítica} \end{cases} \quad (20)$$

E o peso total da disciplina foi dado por:

$$\text{peso da disciplina} = 2^{p_1 \times p_2 \times p_3} \quad (21)$$

Foi optada por uma função exponencial para que mudanças nos pesos que compõem o peso da disciplina resultem em diferenças mais discrepantes entre as disciplinas que podem compor uma decisão. A Figura 24 mostra o gráfico comparando a função de retorno escolhida ($2^{p_1 \times p_2 \times p_3}$) com uma função linear simples de $(1 + p_1 + p_2 + p_3)$, relacionando o aumento na soma dos três pesos com o peso da disciplina resultante. Pode ser verificado que incrementos unitários resultam em aumentos mais significativos na função exponencial, e que o $p_3 = 5$ no caso das disciplinas críticas terá um peso muito maior que as demais.

Figura 24 - Comparação entre função exponencial e linear



Fonte: O Autor (2020)

Já o retorno total de uma decisão, sendo ela uma combinação de disciplinas, é o somatório dos pesos de cada disciplina que a compõe. Esse peso não é constante e igual para todos os estágios, já que p_1 é o atraso e seu valor será relativo a qual período equivale o estágio em que a decisão será tomada. Como o objetivo é priorizar disciplinas com maior peso, a função objetivo utilizada é a de maximização dos pesos, ou seja, decisões com maior peso serão recomendadas.

A questão seguinte é de quantas possíveis decisões existem em cada estágio. No problema do caminho mais curto que foi apresentado no Capítulo 2.1.1, as possíveis decisões eram para quais “nós” se quer ir com base nos estados iniciais. Entretanto, no problema do sequenciamento de disciplinas a quantidade de decisões depende da quantidade de disciplinas possíveis de serem cursadas no estágio, e a quantidade de disciplinas por combinação.

Na Tabela 1 foi feita uma simulação da quantidade de decisões possíveis, considerando a quantidade de disciplinas disponíveis (primeira coluna) pela quantidade de disciplinas em cada combinação (colunas de 1 a 8). A cada linha as disciplinas disponíveis recebem um incremento de 5 disciplinas, e é possível visualizar o efeito disto na quantidade de combinações. No caso extremo de 55 disciplinas disponíveis, a mesma quantidade de disciplinas do currículo, com 8 disciplinas por combinação existem mais de 1 bilhão de combinações possíveis. Se o aluno estiver disposto a cursar de uma a 8 disciplinas por período o total de combinações é a soma da linha, logo, ele terá 1,45 bilhões de possíveis decisões naquele período.

Tabela 1 - Simulação da quantidade de decisões possíveis

| Combinações por quantidade de elementos | | | | | | | | |
|---|----|-------|--------|---------|-----------|------------|-------------|---------------|
| Disciplinas disponíveis | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 5 | 5 | 10 | 10 | 5 | 1 | - | - | - |
| 10 | 10 | 45 | 120 | 210 | 252 | 210 | 120 | 45 |
| 15 | 15 | 105 | 455 | 1.365 | 3.003 | 5.005 | 6.435 | 6.435 |
| 20 | 20 | 190 | 1.140 | 4.845 | 15.504 | 38.760 | 77.520 | 125.970 |
| 25 | 25 | 300 | 2.300 | 12.650 | 53.130 | 177.100 | 480.700 | 1.081.575 |
| 30 | 30 | 435 | 4.060 | 27.405 | 142.506 | 593.775 | 2.035.800 | 5.852.925 |
| 35 | 35 | 595 | 6.545 | 52.360 | 324.632 | 1.623.160 | 6.724.520 | 23.535.820 |
| 40 | 40 | 780 | 9.880 | 91.390 | 658.008 | 3.838.380 | 18.643.560 | 76.904.685 |
| 45 | 45 | 990 | 14.190 | 148.995 | 1.221.759 | 8.145.060 | 45.379.620 | 215.553.195 |
| 50 | 50 | 1.225 | 19.600 | 230.300 | 2.118.760 | 15.890.700 | 99.884.400 | 536.878.650 |
| 55 | 55 | 1.485 | 26.235 | 341.055 | 3.478.761 | 28.989.675 | 202.927.725 | 1.217.566.350 |

Fonte: O Autor (2020)

Quando aplicada a resolução tabular da PD (Figura 7), na tabela de um estágio as linhas são os estados e as colunas as decisões. Em um caso que o aluno pode cursar de 3 a 6 disciplinas no período e no estado inicial existem 20 disciplinas disponíveis, um caso mais factível que o anterior, ele tem 60.249 (1140 + 4845 + 15504 + 38760) possíveis decisões, ou seja, a tabela que representaria esse estado tem uma linha e 60.249 colunas, podendo ser expandida caso existam mais estados iniciais.

Essa condição torna inviável a resolução do problema por meio de planilhas eletrônicas. No capítulo seguinte é descrito como o algoritmo para a resolução na linguagem Python 3.0 foi estruturado, e quais soluções foram propostas para lidar com a explosão de estados característica da PD, que nesse caso é a explosão de decisões.

4.4 MODELAGEM EM PYTHON 3.0

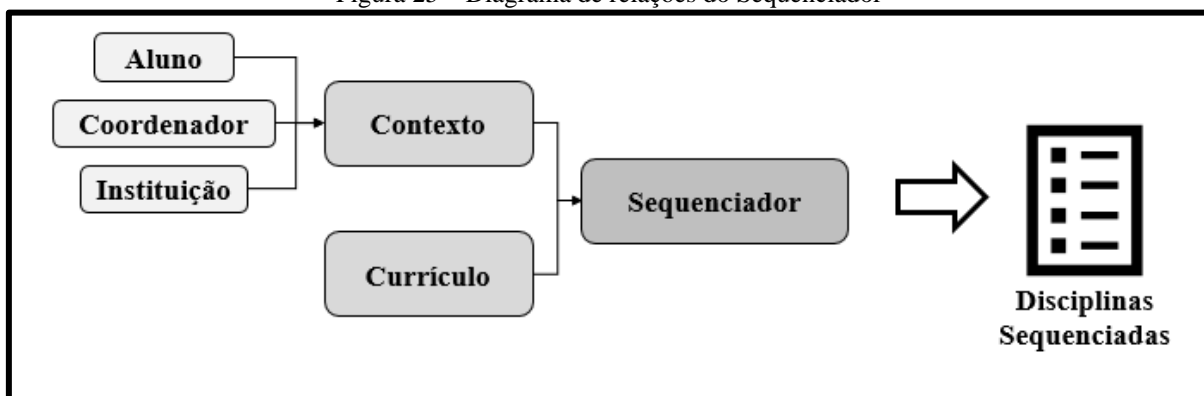
O objetivo deste capítulo é explicar como o software foi “construído”, explicando as entidades criadas, suas relações, seus comportamentos e o processo decisório para encontrar soluções viáveis. O código do software não está transcrito no trabalho, devido à quantidade

excessiva de páginas que seriam necessárias e pela contextualização que seria necessária sobre a linguagem para um entendimento adequado.

Foi utilizado o modelo de programação denominada Programação Orientada a Objeto, e técnicas de design de software que fazem parte de Padrões de Projeto (*Design Patterns*). Entretanto, no texto vão ser utilizados termos adaptados para o melhor entendimento do funcionamento do software, sem que seja necessário contextualizar sobre os termos mais comuns à Ciência da Computação.

Foram definidas entidades que representam termos da PD (estágios, estados e decisões), os atores envolvidos no processo (aluno, coordenador e a instituições), as disciplinas e o currículo em si, assim como uma entidade responsável por sequenciar as disciplinas utilizando dos conceitos da PD, denominado Sequenciador. Cada uma possui variáveis e funções, que representam as características e comportamentos do elemento do qual é abstraído. A Figura 25 é um diagrama das entidades que o sequenciador recebe para entregar as disciplinas sequenciadas, expondo uma visão macro de como o sistema foi elaborado.

Figura 25 – Diagrama de relações do Sequenciador



Fonte: O Autor (2020)

A entidade Currículo é composta por entidades menores que representam as disciplinas, contendo as informações de pré-requisitos, cargas horárias e outras informações presentes na matriz curricular, enquanto a entidade Contexto foi criada para agir como um intermediário entre o Sequenciador e os Atores, entregando as informações que o primeiro utiliza sem que este precise saber para qual dos atores perguntar.

Por exemplo, os limites máximos e mínimos de disciplinas por período podem divergir entre os Atores, mas o Sequenciador não precisa saber como interpretar essas divergências apenas receber os valores dos limites. A regra de como interpretar as informações vindas dos Atores está dentro da entidade Contexto, facilitando assim a manutenção do código já que mudanças nas regras podem ser feitas em apenas uma entidade.

4.4.1 Atores e Contexto

As entidades dos atores são uma abstração das informações que estes podem prover para realizar o sequenciamento, as quais foram definidas no Capítulo 4.2. Sendo assim, elas não possuem funções. Agindo apenas como representantes dos interesses de cada um deles. As variáveis que compõem a entidade do aluno estão expostas no Quadro 4, onde também está o formato dos dados de cada uma delas.

Quadro 4 - Composição da Entidade Aluno

| Atributo | Formato do dado |
|---------------------------------------|------------------------|
| Histórico | Lista dos códigos |
| Semestre Atual | Número Inteiro |
| Disponibilidade nas férias de verão | Booleano |
| Disponibilidade nas férias de inverno | Booleano |
| Prazo de Conclusão | Número Inteiro |
| Máximo de disciplinas por período | Número Inteiro |
| Mínimo de disciplinas por período | Número Inteiro |

Fonte: O Autor (2020)

O segundo ator apresentado, o coordenador, tem suas variáveis e formato de dados expostas no Quadro 5. Basicamente, a entidade é composta por informações da programação das disciplinas, representadas por listas de código. E pelos máximos e mínimos de disciplinas por semestre, representados por números inteiros.

Quadro 5 - Composição da Entidade Coordenador

| Atributo | Formato do dado |
|---|------------------------|
| Disciplinas programadas nos períodos pares | Lista dos códigos |
| Disciplinas programadas nos períodos ímpares | Lista dos códigos |
| Disciplinas programadas nas férias de verão | Lista dos códigos |
| Disciplinas programadas nas férias de inverno | Lista dos códigos |
| Máximo de disciplinas por período | Número inteiro |
| Mínimo de disciplinas por período | Número inteiro |

Fonte: O Autor (2020)

Por fim, a entidade que representa a Instituição tem suas variáveis apresentadas no Quadro 6. Assim como as anteriores, possui apenas os máximos e mínimos de disciplinas por período, e representados por números inteiros. Também é a responsável por informar se o

próximo período é o primeiro ou o segundo período regular do ano letivo, retornando um valor em texto (“Primeiro” ou “Segundo”).

Quadro 6 - Composição da Entidade Instituição

| Atributo | Formato do dado |
|-----------------------------------|------------------------|
| Próximo Semestre Regular | Texto |
| Máximo de disciplinas por período | Número inteiro |
| Mínimo de disciplinas por período | Número inteiro |

Fonte: O Autor (2020)

Por fim, a entidade que intermedia a relação entre o sequenciador e os atores possui apenas funções que “respondem” o sequenciador. Todas elas, com exceção dos máximos e mínimos por período, “perguntam” aos detentores dessa informação e repassam as respostas sem alteração. No Quadro 7 estão identificadas essas funções, com a entidade que é responsável pela resposta.

Quadro 7 - Funções diretas da Entidade Instituição

| Função | Entidade que responde |
|---|------------------------------|
| Semestre Atual do Aluno | Aluno |
| Prazo de conclusão | Aluno |
| Com férias de verão | Aluno |
| Com férias de inverno | Aluno |
| Disciplinas programadas no período par | Coordenador |
| Disciplinas programadas no período ímpar | Coordenador |
| Disciplinas programadas nas férias de verão | Coordenador |
| Disciplinas programadas nas férias de inverno | Coordenador |
| Próximo Semestre Regular | Instituição |

Fonte: O Autor (2020)

A entidade possui ainda duas funções que informam os limites máximos e mínimos para o Sequenciador, interpretando as respostas dos três atores. O Quadro 8 expõe a regra seguida para a interpretação em cada caso, e o formato dos dados da resposta.

Quadro 8 - Funções ponderadas da Entidade Instituição

| Função | Regra | Formato do dado |
|---------------|-------------------------------|------------------------|
| Limite Máximo | Menor limite dentro os atores | Número inteiro |
| Limite Mínimo | Maior limite dentro os atores | Número inteiro |

Fonte: O Autor (2020)

O limite máximo é o menor limite dentre os limites máximos dos atores. Portanto, aquele que informar o menor limite máximo de disciplinas é o que o Sequenciador utilizará. Por sua vez o limite mínimo, é o maior dentre os limites mínimos dos atores. Essa foi a regra escolhida para que não se entrasse no mérito de quem tem maior peso na determinação dos limites, acreditando que tal discussão não cabe no escopo do trabalho.

4.4.2 Currículo e Disciplinas

O currículo é um conjunto das entidades das disciplinas, as quais possuem uma série de atributos que as definem. O Quadro 9 reúne os atributos com os quais a entidade de cada disciplina foi criada, na esquerda os atributos básicos de identificação e na direita os atributos que fazem parte de rede de pré-requisitos. O curso não possui Co-requisitos, portanto este atributo não foi criado.

Quadro 9 - Atributos da Entidade da Disciplina

| Atributo | Formato do dado | Atributo | Formato do dado |
|--------------------------|------------------------|-----------------------------|------------------------|
| Código | Texto | Pré-requisitos Orientativos | Lista |
| Descrição | Texto | Pré-requisitos Parciais | Lista |
| Período | Numérico | Pré-requisito CH Mínima | Numérico |
| Natureza | Texto | Maior Cadeia | Numérico |
| Unidade de Carga-Horária | Numérico | Disciplina Crítica | Booleano |

Fonte: O Autor (2020)

Cada disciplina possui também a função que retorna o seu peso na tomada de decisão, já descrita no Capítulo 4.3. As informações da sua maior cadeia e se ela é uma disciplina crítica já serão informadas quando as entidades forem criadas, mas o atraso é calculado dinamicamente levando em consideração qual período o aluno estará num determinado estágio.

Por fim, o currículo possui, além da função de reunir as disciplinas, a função de responder para o Sequenciador quais disciplinas o aluno ainda precisa cursar. De maneira direta, o Sequenciador recebe da entidade Contexto quais disciplinas o aluno já cursou, repassa para o Currículo, e este entrega para o Sequenciador apenas as entidades das disciplinas que o aluno ainda precisa cursar.

4.4.3 Sequenciador

O Sequenciador é uma entidade que com base na entidade Contexto e Currículo, entrega para os usuários recomendações de sequenciamentos. E atinge esse objetivo por meio

de outras duas entidades, a entidade Estágio e a entidade Construtor. A primeira, como ditam as técnicas da PD, são as partes em que o problema pode ser dividido. E a segunda é uma entidade que literalmente constrói a estrutura necessária para resolução do problema, utilizando a entidade Estágio como seus tijolos, cabendo ao sequenciador desencadear os cálculos recursivos que acontecem dentro das entidades Estágio e interpretar os seus resultados.

Em seguida serão apresentadas ambas as entidades, Estágio e Construtor, e por fim, como se o desencadeamento dos cálculos e interpretação dos resultados.

4.4.3.1 Entidade dos Estágio

Na resolução tabular da PD cada tabela representa um estágio, e as colunas representam os demais elementos que fazem parte da técnica. Um exemplo dessa tabela é apresentado na Figura 7, no qual pode ser vista uma coluna dos estados associados ao estágio (s_n), colunas para dos retornos acumulados ($f_n(s_n, d_n)$) de cada decisão (d_n), uma coluna dos retornos acumuladas ótimos ($f_n^*(s_n)$) e uma das decisões ótimas associadas a esse retorno (d_n^*). Entretanto, uma tabela que representa o problema deste trabalho precisa de duas adaptações.

Primeiramente, no Capítulo 4.3 foi citado que o problema foi formulado por meio da *recursão progressiva*, e a Figura 6 demonstra como o retorno acumulado das decisões é calculado nesse tipo de recursão. Na figura pode ser visto que o retorno acumulado em cada estágio é dado pela soma do retorno da decisão tomada nele ao retorno acumulado dos seus estágios anteriores. Sendo assim a função de retorno acumulado deve considerar o estágio anterior, e não o próximo como mostra a Figura 7.

Também, no exemplo apresentado no Capítulo 2.1.3 as decisões tomadas em um estágio têm uma relação direta com estados associados ao estágio seguinte, enquanto no problema deste trabalho esse não é o caso. Neste trabalho os estados iniciais são as disciplinas que o aluno tem pendentes (não cursadas), e as decisões são as combinações dessas disciplinas que ele escolhe cursar no período. E os estados iniciais associados ao próximo estágio não são essas decisões, mas sim, a diferença entre as disciplinas que estavam pendentes e a decisão que foi tomada.

A Figura 26 apresenta como seria a tabela adaptada por essas duas diferenças, a mudança na função de retorno acumulado ($f_n(s_n, d_n)$) e os estados associados ao estágio seguinte (s_{n+1}).

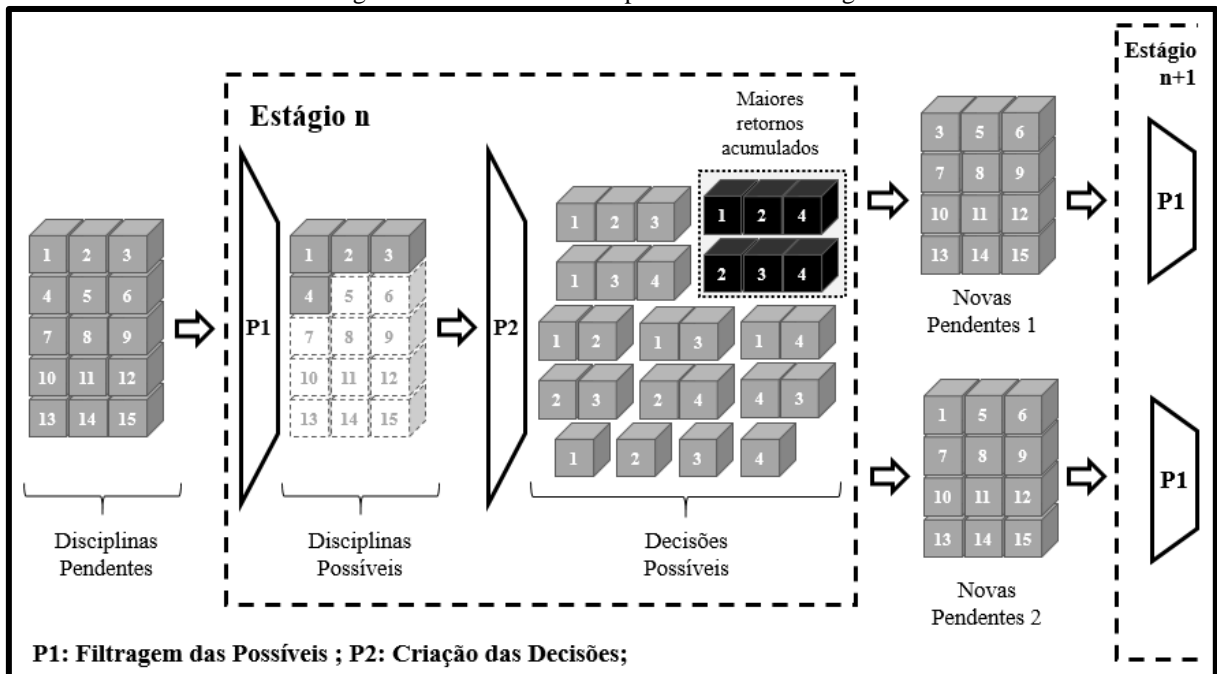
Figura 26 - Modelo de tabela ajustada para o problema de Sequenciamento

| | | | | | | |
|---------------|---|--|--|--------------|---------|-----------|
| s_n \ d_n | $f_n(s_n, d_n)$ $= r_n(s_n, d_n) + f_{n-1}^*(s_{n-1})$ | | | $f_n^*(s_n)$ | d_n^* | s_{n+1} |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

Fonte: O Autor (2020)

Tendo sido feitas essas considerações, a visão de como a entidade do Estágio foi concebida fica mais clara. Ela basicamente emula essa tabela apresentada na Figura 26, contendo comportamentos para a definição das disciplinas possíveis e criação das decisões possíveis. A Figura 27 mostra um resumo de como os estágios operam. Nela, um estágio fictício (*Estágio n*) recebe 15 disciplinas pendentes, provenientes de um estágio anterior (quando $n > 1$) ou da diferença entre o que o aluno já cursou e o exigido pela matriz curricular (quando $n = 1$). Então, essas disciplinas passam pelo primeiro processo dentro do estágio (P1) onde são determinados quais são as possíveis de serem cursadas. Na Figura 27, são as disciplinas 1, 2, 3 e 4.

Figura 27 - Estrutura e comportamento dos Estágios



Fonte: O Autor (2020)

Essas quatro disciplinas entram no segundo processo (P2), onde são criadas as combinações possíveis dessas disciplinas, ou seja, as decisões que podem ser tomadas. Dentre elas, são calculadas as funções de retorno de todas elas e as com o maior valor são separadas.

Na Figura 27 são as dentro do retângulo pontilhado. Cada uma delas dá origem a dois novos conjuntos de disciplinas pendentes, as quais são as entradas do estágio seguinte (*Estágio $n + 1$*). Esses dois conjuntos passam pelos mesmos processos dentro desse próximo estágio (P1 e P2), resultando em conjuntos de disciplinas pendentes para o estágio seguinte e assim sucessivamente. Repetindo esse processo enquanto houver estágios, ou houver disciplinas pendentes.

O processo geral por meio do qual o Estágio executa a recursão está descrito no APÊNDICE C, onde pode ser visualizado que quando é dado início ao processo o estágio primeiro verifica se ele tem estágios anteriores. Na falta deste ele segue o processo porque isso quer dizer que ele é o primeiro estágio, sendo assim se baseia nas disciplinas que o aluno tem pendentes. É selecionado um dos estados que então passa pelos processos P1 e P2, e cada estado resultante da tomada das decisões ótimas é salvo junto com o seu maior retorno acumulado. Tendo-se verificado todos os estados, ou disciplinas pendentes, os estados resultantes e seus retornos são enviados para o estágio seguinte.

Esse é um exemplo hipotético para a visualização do processo, em que as quatro disciplinas possíveis e as decisões com maior retorno foram escolhidas por conveniência. Para aplicações reais os processos de Filtragem das Possíveis (P1) e Criação das Decisões (P2) segue o método descrito nos Capítulos 4.4.3.1.1 e 4.4.3.1.2. Ambos subprocessos da Recursão do Estágio, como pode ser verificado no APÊNDICE C.

A entidade também possui atributos básicos necessários para que esses processos funcionem (Quadro 10), na sua maioria obtidos da entidade Contexto. Com exceção dos atributos “Anterior” e “Período do Aluno”, que são definidos pelo Construtor durante a construção da recursão, mas esse processo será tratado em capítulos seguintes.

Quadro 10 - Atributos básicos da Entidade Estágio

| Atributo | Formato do dado |
|-----------------------------------|------------------------|
| Anterior | Estágio |
| Período Aluno | Número Inteiro |
| Disciplinas Programadas | Conjunto |
| Máximo de Disciplinas por Decisão | Número Inteiro |
| Mínimo de Disciplinas por Decisão | Número Inteiro |

Fonte: O Autor (2020)

Por fim, é importante explicar que foram criadas entidades específicas para o período que cada estágio representa no ano letivo, sendo elas:

- a) Estágios de Períodos Regulares:
 - Ímpar (E1): Representa o primeiro semestre do ano letivo;
 - Par (E2): Representa o segundo semestre do ano letivo.
- b) Estágios de Períodos de Férias:
 - Verão (EV): Representa o período entre o segundo semestre de um ano e o primeiro semestre do ano seguinte, onde acontecem turmas intensivas de férias;
 - Inverno (EI): Representa o período entre o primeiro semestre de um ano e o segundo semestre do mesmo ano, onde acontecem turmas intensivas de férias.

Essa diferenciação foi motivada pelo método como o Construtor constrói a recursão, mas também por uma pequena diferença no processo de filtragem das possíveis que acontece no período de férias.

4.4.3.1.1 Filtragem das Possíveis

As disciplinas pendentes passam por três conferências durante o processo de filtragem, a fim de determinar quais delas o aluno pode cursar no período emulado pelo estágio. Na primeira conferência as disciplinas são divididas em dois grupos, possíveis e não possíveis. A partir deste ponto, caso uma disciplina não satisfaça os critérios da segunda ou terceira conferência ela é movida do primeiro para o segundo grupo.

A primeira conferência verifica o atendimento dos pré-requisitos orientativos e de carga-horária mínima da disciplina, na falta destes a disciplina é colocada no grupo das não possíveis. As disciplinas que ficaram no grupo das possíveis passam então pela segunda conferência, onde é verificado se a disciplina será programada e se o período em que a disciplina está na matriz curricular é igual ou menor que o período em que o aluno estará naquele determinado estágio.

A segunda conferência é diferente em estágios de períodos regulares (ímpar ou par), e em períodos de férias (Verão ou Inverno). Em períodos regulares todas as disciplinas pendentes são consideradas como sendo ofertadas, a menos que o Coordenador tenha informado que a disciplina acontece no período contrário. Se ele informou que a disciplina A acontece em períodos ímpares, logo ela não acontece nos pares. Já nos períodos de férias, são consideradas como ofertadas apenas as disciplinas que ele informar naquele período. Caso nenhuma disciplina tenha sido informada, o aluno não tem nenhuma opção para cursar mesmo que tenha

informado estar disponível nas férias. Podendo ocorrer o caso haver disciplinas sendo ofertadas, mas o aluno já as ter cursado.

Por fim, na terceira conferência os pré-requisitos parciais são verificados. Essa conferência é executada separadamente devido a possibilidade de a disciplina ser cursada juntamente com seus pré-requisitos, caso ainda estejam pendentes. A disciplina é considerada possível se os seus pré-requisitos parciais que ainda estão pendentes, não esteja no grupo das disciplinas não possíveis após o fim da segunda conferência. O fluxograma do processo decisório descrito está no APÊNDICE D para conferência.

4.4.3.1.2 Criação das decisões

Com base nas disciplinas possíveis são geradas as possíveis decisões no estágio, que nada mais são que combinações dessas disciplinas. Para tal, foi utilizada a biblioteca *Itertools*, especializada em combinações para a linguagem Python. E assim como no processo de filtragem, esse processo é composto por três etapas de conferência.

Na primeira conferência são geradas todas as combinações das disciplinas possíveis, com todas as quantidades de itens possíveis. Caso sejam 5 disciplinas possíveis, são geradas as combinações com 5 itens, 4 itens, 3 itens, 2 itens e as disciplinas individuais. Nesta etapa também é tomada a primeira ação para diminuir a explosão de decisões, e garantir que as disciplinas críticas são priorizadas, que se resume em, caso disciplinas críticas estejam no grupo das possíveis, apenas combinações que contenham estas disciplinas são registradas na memória e passam para a segunda conferência.

Nesta etapa são utilizados os limites máximos e mínimos de disciplinas por período, informados pela entidade Contexto. Cada combinação de disciplinas é avaliada pelo somatório do UCH das disciplinas que a compõem, e as que estiverem fora dos limites são excluídas e não seguem para a última conferência. Entretanto, se a quantidade de disciplinas pendentes é menor que o limite mínimo, os limites são desconsiderados já que nunca serão alcançados.

Caso fosse considerado o total de disciplinas, e não de UCH, combinações de disciplinas com muita pouca carga de trabalho poderiam ser indicadas, resultando num desbalanceamento de cargas entre os períodos, e possivelmente atrasados, já que a carga-horária total da matriz curricular demoraria mais para ser atingida. Considerando a quantidade de disciplinas, uma combinação de quatro disciplinas de 0,5 UCH está dentro dos limites superior e inferior de 5 e 3 tanto quanto uma combinação de quatro disciplinas de 1 UCH.

Uma disciplina com 1 UCH é uma disciplina em que as aulas ocorrem durante todo um período, normalmente com aulas semanais. Logo supõe-se que uma disciplina de 0,5 UCH,

exige metade desse esforço. O aluno pode cursar duas disciplinas de 0,5 UCH, e terá o mesmo número de aulas caso tivesse cursado uma disciplina de 1 UCH. Por esse motivo se optou por considerar o UCH total ao se avaliar os limites, evitando que fossem recomendadas combinações com carga-horária total abaixo da expectativa do aluno.

Por fim, é realizada a terceira conferência, onde os pré-requisitos parciais são verificados novamente. Se uma disciplina que tem pré-requisitos parciais, mas só foi possível porque o seu pré-requisito também é possível no mesmo período, essa disciplina só pode estar em combinações junto com essa disciplina que é seu pré-requisito. Por exemplo, se A é pré-requisito parcial de B e A também está pendente e é possível, somente combinações tendo B junto com A são aceitáveis. Combinações que não atendam essa lógica, serão descartadas. No APÊNDICE E todos os processos decisórios para a criação de decisões estão expostos.

4.4.3.2 Construção da Recursão

Para que os estágios funcionem corretamente e simulem o sistema real da maneira mais fiel possível, é necessário que dois cuidados sejam tomados. Os estágios precisam estar vinculados para que recebam e enviem os estados do sistema. E, independentemente da quantidade de estágios, eles precisam ser vinculados respeitando a ordem que os períodos acontecem em um ano letivo real. Ao invés do Sequenciador ter todas as lógicas de construção, essa responsabilidade foi delegada para o Construtor.

Para definir como executar a construção condizente com a expectativa dos Atores, essa entidade se comunica com a entidade Contexto. Com o objetivo de sanar os seguintes questionamentos:

- a) O aluno está disposto a cursar disciplinas nas férias de verão?
- b) O aluno está disposto a cursar disciplinas nas férias de inverno?
- c) O próximo semestre regular é Ímpar ou Par?
- d) Qual o prazo de conclusão do aluno?

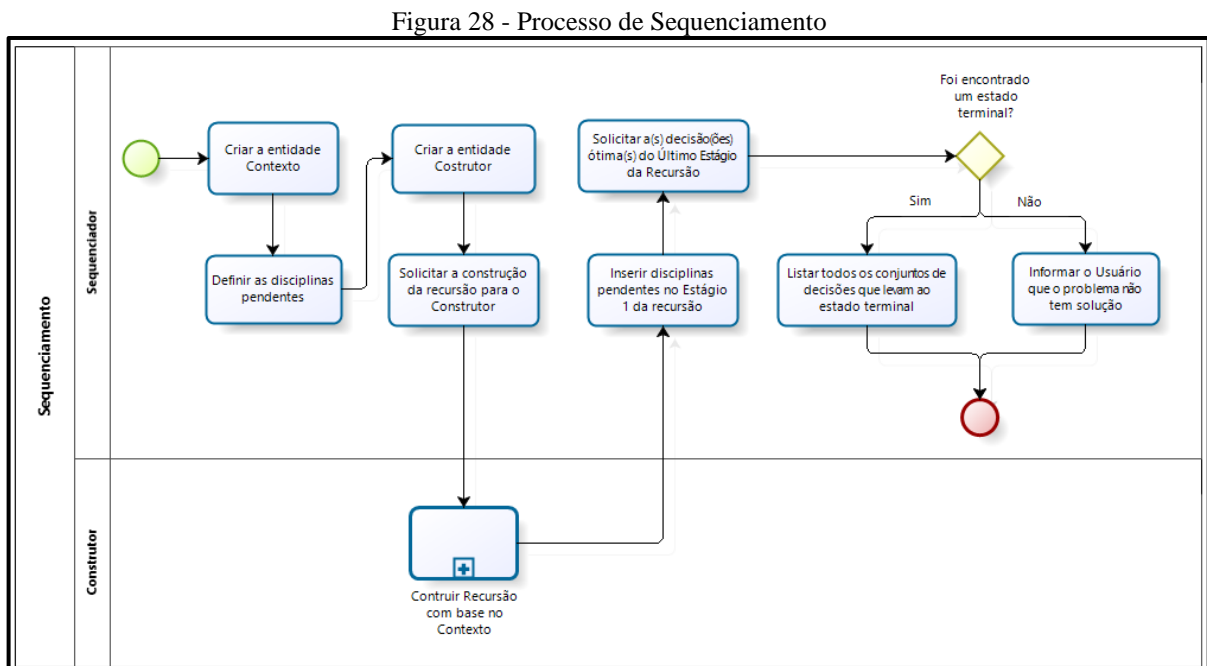
Baseado nas respostas que o obtém, o Construtor segue o processo apresentado no APÊNDICE F - PROCESSO DECISÓRIO DO CONSTRUTOR DE RECURSÃO APÊNDICE F para executar a construção. Nesse processo com base na disponibilidade do aluno para disciplinas no período de férias a recursão seguindo quatro diferentes subprocessos: construir com períodos de férias de Verão e Inverno, construir com o período de férias de Verão, construir com o período de férias de Inverno ou construir sem férias.

Após entrar em um desses subprocessos a informação de qual é o próximo semestre regular, se é Ímpar ou Par, o Construtor inicia o *loop* de construção. Até que a quantidade de

estágios regulares seja igual o prazo de conclusão do aluno, desconsiderando os estágios de férias que venham ser criados entre eles. E, com exceção do primeiro estágio criado que não tem estágio anterior, os estágios são criados já recebendo a informação de qual é o seu estágio anterior.

4.4.3.3 Sequenciamento

O processo que o Sequenciador segue para obter o sequenciamento das disciplinas está descrito na Figura 28, do qual também participa o Construtor. O processo inicia com a criação da entidade Contexto, que em seguida é utilizada para comparar as disciplinas que aluno já cursou com as disciplinas que compõem a entidade Currículo para definir as disciplinas pendentes. É então criado o Construtor e solicitada a construção da Recursão, este então segue o processo decisório exposto no APÊNDICE F e explicado no Capítulo 4.4.3.2.



Fonte: O Autor (2020)

Tendo a recursão sido construída com os estágios devidamente vinculados, o Sequenciador insere no Estágio 1 da recursão as disciplinas que pendentes. Essa inserção ocorre porque esse é o único estágio que não tem estágio anterior, tendo como estado inicial este conjunto de disciplinas pendentes. O Sequenciador então solicita as decisões ótimas do último estágio da recursão, o que desencadeia os cálculos recursivos. O último estágio solicita ao seu estágio anterior quais os possíveis estados do sistema, que por sua vez solicita o mesmo para o seu estágio anterior, que repete o mesmo. E assim sucessivamente, até que a solicitação chegue ao primeiro estágio da recursão. Quando as respostas começam a voltar, até chegar ao último estágio.

Essa solicitação das decisões ótimas não retorna nada para o usuário, ela apenas desencadeia os cálculos dos estágios. O Sequenciador verifica se dentre os estados s_{n+1}^* do último estágio existe algum estado terminal, ou seja, se em algum caso não existem mais disciplinas pendentes. Na falta deste o usuário é avisado que não foi possível encontrar uma solução viável, e correções nos parâmetros definidos pelos atores deve ser feita. Tendo encontrado um estado terminal do sistema, estão disponíveis as escolhas ótimas em cada estágio.

4.5 TESTES COM PERFIS

Os testes foram realizados a partir da criação de cenários fictícios, verificando se o sistema consegue encontrar soluções viáveis. E quando soluções não fossem encontradas, ajustes ao cenário foram propostos e novas tentativas de sequenciar as disciplinas foram realizadas. Neste capítulo serão descritos os cenários utilizados, os ajustes que eles precisaram receber e avaliados os resultados encontrados.

Além de cenários que emulem situações em que alunos procuram o Coordenador quando já estão inseridos no curso, foi verificado se o sistema consegue gerar uma recomendação idêntica à matriz curricular. Supondo o caso de um aluno que queira seguir exatamente o que a matriz propõe, sendo denominado de Cenário base. Então foram propostos quatro cenários, com seus parâmetros iniciais resumidos nos apêndices deste trabalho:

- a) Cenário base: gerar um sequenciamento que replique a distribuição das disciplinas nos semestres como aparecem na matriz curricular (APÊNDICE G);
- b) Cenário alternativo 1: gerar o sequenciamento para um aluno fictício que está na metade do curso, com quase metade da carga-horária exigida cursada, não tem atrasos no caminho crítico e quer concluir o curso dentro do período estipulado da matriz curricular (APÊNDICE K);
- c) Cenário alternativo 2: gerar o sequenciamento para um aluno fictício que está no oitavo semestre do curso, tem apenas metade da carga-horária do curso exigida cursada e não tem atrasos no caminho crítico, mas quer concluir o curso em apenas dois anos (APÊNDICE M);
- d) Cenário alternativo 3: gerar o sequenciamento para um aluno fictício que já passou do décimo semestre de curso, tem muito poucas disciplinas para cursar e quer concluir o curso em um ano, mas tem um atraso no caminho crítico que gera a necessidade de três semestres para concluí-lo (APÊNDICE R);

Os cenários ajustados para que soluções possíveis fossem encontradas, não tem apêndices de resumo específicos para eles. Também constam nos apêndices as resoluções tabulares de cada cenário e dos cenários com os ajustes. As tabelas dessas resoluções foram resumidas para que fosse possível comportá-las nas dimensões das páginas, suprimindo as colunas de cada uma das decisões. Portanto, as tabelas possuem apenas as colunas dos estados, retorno ótimo, decisões ótimas e pendentes do próximo estágio. Por fim, quando a quantidade de sequenciamentos viáveis para um cenário for maior que uma dezena, estes foram incluídos nos apêndices.

4.5.1 Cenário Base

Tendo em vista que este cenário visa a verificar se o sistema consegue recomendar um sequenciamento que replique a matriz curricular, os *inputs* dos atores foram ajustados para simular um aluno que está entrando no curso, não vai cursar disciplinas nas férias e tem um prazo de conclusão de 10 semestres. O Coordenador não indica se alguma disciplina específica acontece apenas nos semestres pares ou ímpares, nem se disciplinas que acontecem nas férias. A Instituição indica apenas que o próximo semestre regular é o primeiro semestre do ano.

Os limites de disciplinas por semestre foram definidos para que não impeçam o aluno de cursar o máximo de disciplinas que pode ter disponíveis em um semestre, que no caso do curso em questão é de 6 disciplinas (semestres: 1, 3, 4, 5 e 10). Para o Aluno foi definido o limite máximo de 6 disciplinas e o mínimo de uma disciplina, enquanto para o Coordenador e Instituição foi definido o máximo de 12 disciplinas e o mínimo de uma disciplina.

Como pode ser verificado no APÊNDICE G a UCH total que o aluno tem pendente (45 UCH) dividida pelo prazo estipulado (10 semestres) resulta em 4,5 UCH por semestre, o que está abaixo dos máximos estipulados por cada ator, indicando que considerando apenas essa informação, a conclusão do curso no prazo estipulado é factível. Também, como nenhuma disciplina foi cursada, não é possível constatar atrasos no caminho crítico.

4.5.1.1 Resultados do Cenário Base

No APÊNDICE H constam as tabelas dos dez estágios em que o problema do cenário foi dividido, com os retornos e decisões ótimas para cada um deles. É possível constatar que foi encontrada pelo menos uma solução viável, já que na tabela do décimo estágio o valor da coluna de pendentes para o próximo estágio consta como terminal, ou seja, em um décimo primeiro estágio não haveria mais disciplinas para serem sequenciadas. No Quadro 11 consta o sequenciamento das disciplinas, que nada mais é do que as decisões ótimas em cada um dos

estágios. Além do conjunto de disciplinas que devem ser cursadas, também constam os tipos de cada período.

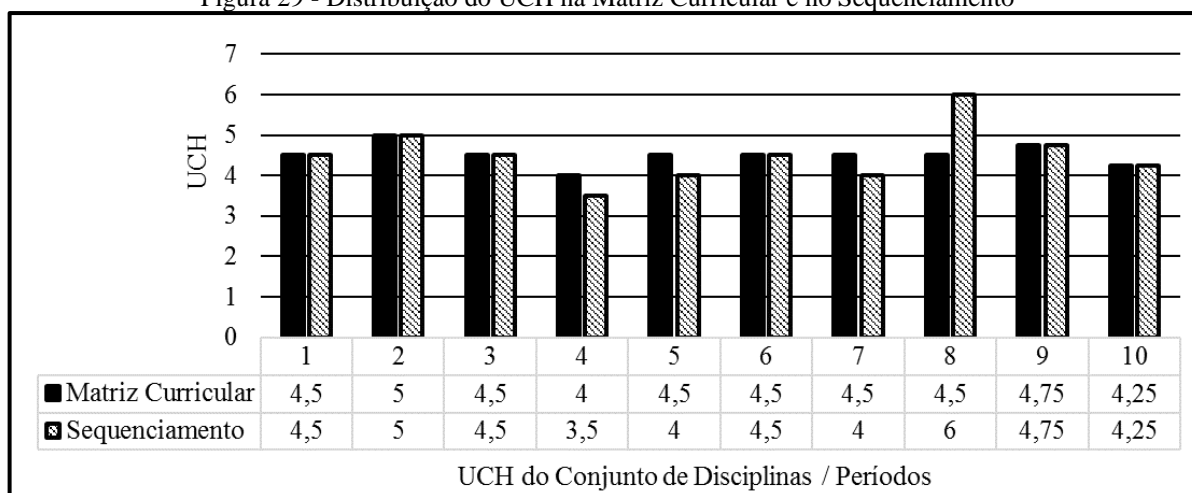
Quadro 11 - Sequenciamento do Cenário Base

| Estágio | Tipo do Período | Conjunto de Disciplinas |
|---------|-----------------|--|
| 1 | Semestre Ímpar | B001, B002, B003, B004, B005, E001 |
| 2 | Semestre Par | B006, B007, B008, B009, G001 |
| 3 | Semestre Ímpar | B010, B011, B012, B013, B014, B015 |
| 4 | Semestre Par | B016, B017, E002, G002, G003 |
| 5 | Semestre Ímpar | B018, B019, B020, E003, E004, G004 |
| 6 | Semestre Par | B021, B022, E005, E006, E007 |
| 7 | Semestre Ímpar | B023, E008, E009, E010 |
| 8 | Semestre Par | E011, E012, E013, E014, E015, E016, E017 |
| 9 | Semestre Ímpar | E018, E019, E020, E021, E022 |
| 10 | Semestre Par | B024, B025, E023, E024, E025, E026 |

Fonte: O Autor (2020)

Quando comparado o estágio em que as disciplinas foram colocadas com o semestre em que aparecem na matriz curricular, diferenças podem ser constatadas, mais facilmente visualizadas quando é verificado o UCH total em cada período. A Figura 29 expõe essas diferenças que começam a ocorrer a partir do quarto semestre, que na matriz tem 4 UCH, mas no sequenciamento foram recomendados apenas 3,5 UCH.

Figura 29 - Distribuição do UCH na Matriz Curricular e no Sequenciamento



Fonte: O Autor (2020)

Focando apenas nas disciplinas que fazem parte do quarto semestre da matriz curricular, é possível verificar pelo Quadro 12 que destas apenas a disciplina B018 (Estática dos Corpos Rígidos) foi colocada pelo sistema no estágio 5.

Quadro 12 - Estágios das disciplinas do quarto semestre da Matriz Curricular

| Disciplina | Descrição | UCH | Semestre na Matriz | Estágio |
|------------|------------------------------------|-----|--------------------|---------|
| B016 | Fundamentos de Eletromagnetismo | 1 | 4 | 4 |
| B018 | Estática dos Corpos Rígidos | 0,5 | 4 | 5 |
| B017 | Cálculo Diferencial e Integral III | 1 | 4 | 4 |
| E002 | Metrologia | 0,5 | 4 | 4 |
| G002 | Optativa de Formação Geral EaD | 0,5 | 4 | 4 |
| G003 | Optativa de Formação Geral EaD | 0,5 | 4 | 4 |

Fonte: O Autor (2020)

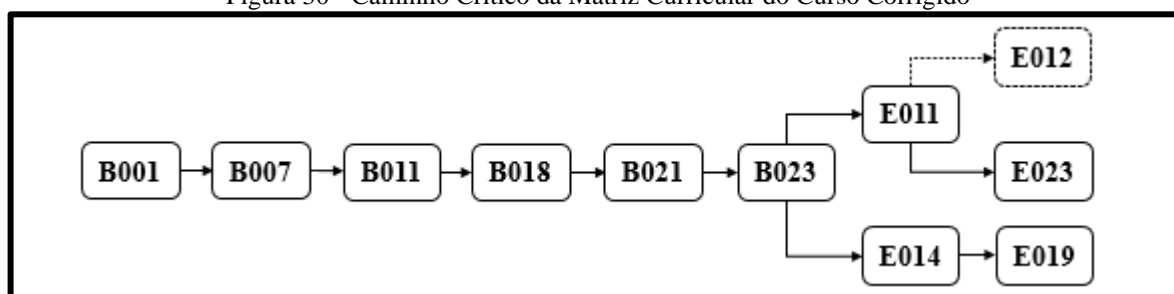
O sistema sequenciou desta maneira devido aos pré-requisitos orientativos da disciplina B018, dos quais um deles é a disciplina B017 (Cálculo Diferencial e Integral III), ou seja, ambas estão no mesmo semestre, mas uma precisa ser cursada antes da outra. Sendo possível constatar que é impraticável cursar as disciplinas na ordem que a matriz propõe, sem que a relação de pré-requisitos seja quebrada.

Devido a essa incongruência, a situação foi informada para o coordenador. E se constatou que a representação gráfica possui um erro de digitação, e que na realidade o pré-requisito orientativo da disciplina B018 é a B011 (Cálculo Diferencial e Integral II). Sendo assim, os dados foram corrigidos e o cenário sequenciado novamente. Mas, a correção implica mudanças também na rede de pré-requisitos, caminho crítico e nas maiores cadeias.

4.5.1.2 Implicações da Correção

Analisando novamente a rede de pré-requisitos foram contabilizados agora 48 caminhos entre as disciplinas origem e destino, todos listados no APÊNDICE I. Nele pode ser visto que a correção afetou os maiores caminhos, que agora têm 8 disciplinas de comprimento sem considerar os pré-requisitos parciais. Anteriormente B017 e B018 faziam parte do caminho crítico, mas com a alteração B017 deixou de fazer parte do caminho. A Figura 30 mostra os caminhos críticos atualizados, em que agora o aluno passa da disciplina B011 diretamente para a B018.

Figura 30 - Caminho Crítico da Matriz Curricular do Curso Corrigido



Fonte: O Autor (2020)

A correção também implicou alterações nos maiores caminhos a partir das disciplinas que fazem parte da rede de pré-requisitos, que havia sido apresentada no Capítulo 4.1.2 e no Quadro 3. A análise foi realizada novamente, e os resultados constam no Quadro 13.

Quadro 13 - Maiores caminhos a partir das disciplinas que fazem parte da rede de pré-requisitos corrigidos

| Disc. | Maior Cam. | Disc. | Maior Cam. | Disc. | Maior Cam. | Disc. | Maior Cam. | Disc. | Maior Cam. | Disc. | Maior Cam. |
|-------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|------------|
| B001 | 7 | B012 | 3 | B021 | 3 | E006 | 1 | E014 | 1 | E024 | 0 |
| B003 | 3 | B013 | 3 | B022 | 1 | E007 | 2 | E015 | 0 | E025 | 0 |
| B004 | 4 | B015 | 4 | B023 | 2 | E008 | 0 | E016 | 0 | E026 | 0 |
| B006 | 5 | B016 | 2 | B024 | 0 | E009 | 0 | E019 | 0 | | |
| B007 | 6 | B017 | 0 | E002 | 3 | E010 | 0 | E020 | 0 | | |
| B009 | 2 | B018 | 4 | E003 | 1 | E011 | 1 | E021 | 1 | | |
| B010 | 3 | B019 | 2 | E004 | 2 | E012 | 0 | E022 | 0 | | |
| B011 | 5 | B020 | 1 | E005 | 2 | E013 | 0 | E023 | 0 | | |

Fonte: O Autor (2020)

Uma nova tabela da matriz curricular não será apresentada, visto que a única correção foi nos pré-requisitos orientativos da disciplina B018. Que anteriormente eram B017 e B006, quando o correto era B011 e B006. A informação foi alterada nos dados de entrada do sistema, e o Cenário Base foi sequenciado novamente.

4.5.1.3 Resultados do Cenário Base após a Correção

No APÊNDICE J constam as tabelas dos dez estágios em que o problema do cenário foi dividido, onde é possível constatar que foi encontrada pelo menos uma solução viável novamente. No Quadro 14 consta o sequenciamento das disciplinas, além do conjunto de disciplinas que devem ser cursadas, também constam os tipos de cada período.

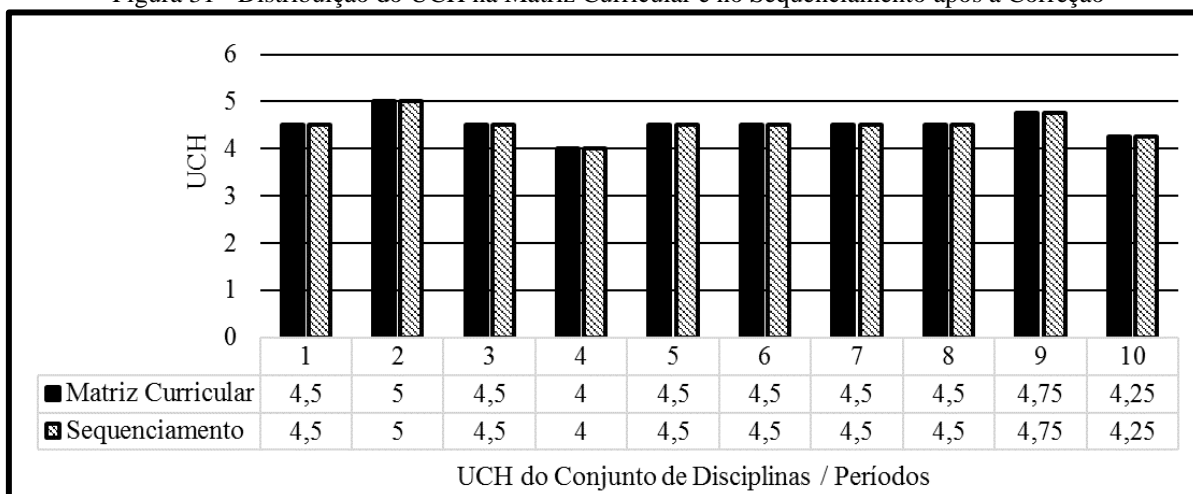
Quadro 14 - Sequenciamento do Cenário Base após a Correção

| Estágio | Tipo do Período | Conjunto de Disciplinas |
|---------|-----------------|------------------------------------|
| 1 | Semestre Ímpar | B001, B002, B003, B004, B005, E001 |
| 2 | Semestre Par | B006, B007, B008, B009, G001 |
| 3 | Semestre Ímpar | B010, B011, B012, B013, B014, B015 |
| 4 | Semestre Par | B016, B017, B018, E002, G002, G003 |
| 5 | Semestre Ímpar | B019, B020, B021, E003, E004, G004 |
| 6 | Semestre Par | B022, B023, E005, E006, E007 |
| 7 | Semestre Ímpar | E008, E009, E010, E011, E012 |
| 8 | Semestre Par | E013, E014, E015, E016, E017 |
| 9 | Semestre Ímpar | E018, E019, E020, E021, E022 |
| 10 | Semestre Par | B024, B025, E023, E024, E025, E026 |

Fonte: O Autor (2020)

Agora, quando comparados os estágios em que as disciplinas foram colocadas com o semestre em que aparecem na matriz curricular, não foram identificadas diferenças. A UCH total de cada decisão ótima nos estágios não é diferente do UCH de cada semestre da matriz curricular, e a Figura 31 expõe as distribuições de UCH.

Figura 31 - Distribuição do UCH na Matriz Curricular e no Sequenciamento após a Correção



Fonte: O Autor (2020)

Assim, dadas as *inputs* ideais dos Atores, o Sequenciador de ordenar as disciplinas conforme elas aparecem na matriz curricular. Ajustes nas informações da UCS não fazem parte do escopo deste trabalho, portanto ficam a cargo dos setores responsáveis da instituição. E nos capítulos seguintes serão testados os demais cenários, resumidos anteriormente.

4.5.2 Cenário 1

Este cenário teve o objetivo de sequenciar disciplinas para um aluno em situação mais avançada do curso, ao contrário do cenário anterior. Os *inputs* do Aluno foram ajustados para simular alguém que está na metade do curso em tempo (5º semestre), e quase metade da carga-horária do curso concluída. Ele continua querendo concluir o curso no tempo estipulado pela matriz (10 semestres), portanto o prazo desse ator é de 5 semestres. Ele também não está disponível para cursar disciplinas nas férias, tendo que cursar todas as disciplinas em semestres regulares. O Coordenador continuou não indicando se alguma disciplina específica acontece apenas nos semestres pares ou ímpares, nem se existem disciplinas de férias. A Instituição, indica apenas que o próximo semestre regular é o segundo semestre do ano, já que se considerou que o aluno começou o curso da mesma maneira que no cenário base.

Os limites de disciplinas por semestre começaram a sofrer ajustes, e o máximo de disciplinas que o aluno pode cursar foi definido como 5, e o mínimo 3, enquanto para o Coordenador foi definido como 6 e 3 respectivamente, e para a Instituição os limites foram

mantidos como os do Cenário Base. Como pode ser verificado no APÊNDICE K - RESUMO DO CENÁRIO 1 a UCH total que o aluno tem pendente (23,5 UCH) dividida pelo prazo estipulado (5 semestres) resulta em 4,5 UCH por semestre, o que está abaixo dos máximos estipulados por cada ator. Indicando que, considerando apenas essa informação, a conclusão do curso no prazo estipulado é factível.

Também, não é possível constatar atrasos no caminho crítico, visto que o maior caminho partindo da disciplina B023 (Fundamentos de Acústica para Engenharia) é de 3 disciplinas e o prazo do aluno é de 5 semestres.

4.5.2.1 Resultados do Cenário Alternativo 1

O problema deste cenário foi dividido em cinco estágios, condizendo com o prazo estipulado pelo aluno. A resolução tabular está exposta no APÊNDICE L, onde pode ser verificado na quinta tabela que uma decisão ótima para um dos estados resultou em um estado terminal, ou seja, o sistema encontrou uma solução viável. A sequência de decisões que resultaram nesse estado representa o sequenciamento ótimo do cenário, o qual está resumido no Quadro 15.

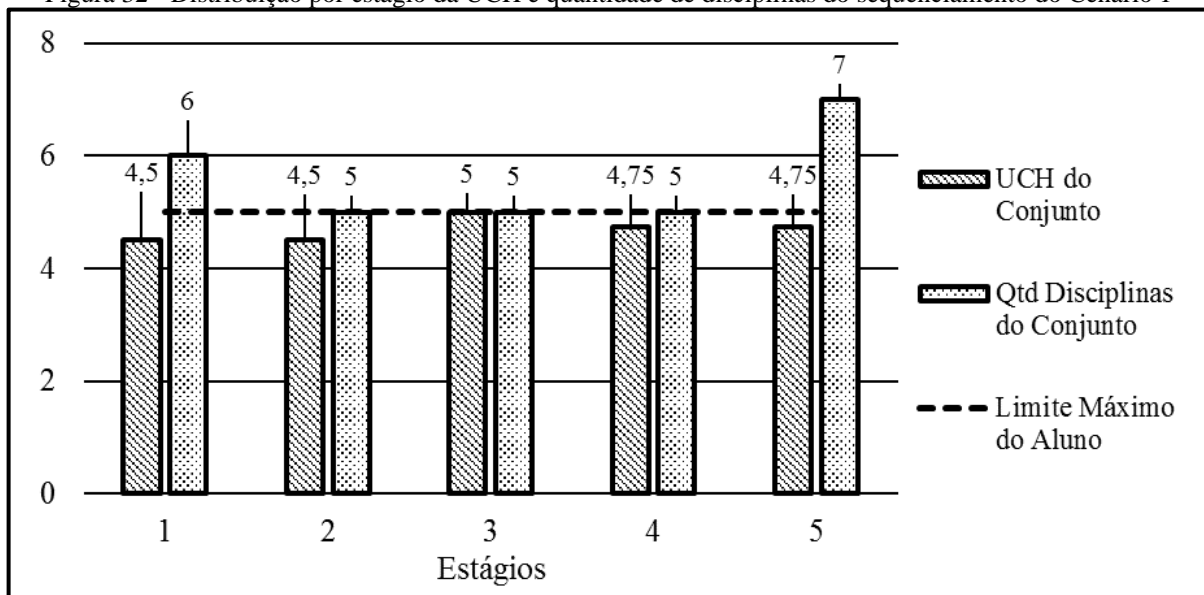
Quadro 15 - Sequenciamento do Cenário 1

| Estágio | Tipo do Período | Conjunto de Disciplinas |
|----------------|------------------------|--|
| 1 | Semestre Par | B022, B023, E005, E007, G002, G003 |
| 2 | Semestre Ímpar | E006, E008, E009, E011, E012 |
| 3 | Semestre Par | E010, E013, E014, E015, E016 |
| 4 | Semestre Ímpar | E017, E019, E020, E021, E022 |
| 5 | Semestre Par | B024, B025, E018, E023, E024, E025, E026 |

Fonte: O Autor (2020)

Analisando este resultado, se constata que dois estágios (1 e 5) tem uma quantidade de disciplinas maior que o limite estipulado pelo Aluno (máximo = 5). Isso se dá pelo método por meio do qual são criadas as decisões em cada estágio, descrito no Capítulo 4.4.3.1.2. Nele é definido que os limites máximos e mínimos são comparadas com o UCH total das decisões, e justifica tal escolha. Para comprovar que a regra foi respeitada, a Figura 32 plota por estágio o UCH total e a quantidade de disciplinas do conjunto de disciplinas que compõem cada decisão, comparando-os com o limite máximo definido pelo Aluno.

Figura 32 - Distribuição por estágio da UCH e quantidade de disciplinas do sequenciamento do Cenário 1



Fonte: O Autor (2020)

Caso futuramente seja desejável que haja um equilíbrio entre a quantidade de disciplinas da decisão e o UCH total dela, será necessário ajustar a função de retorno ou o método de criação das decisões. A função de retorno é um somatório do retorno de cada disciplina que compõe a decisão, ela não premia ou prejudica com base na quantidade de disciplinas. Seria necessário incluir um parâmetro para aumentar o retorno de decisões que mantém o equilíbrio entre a quantidade de disciplinas e o UCH das decisões. A outra opção é ajustando o método de criação das decisões, incluindo uma folga para os limites definidos. No caso desse problema, poderia ser permitido que se exceda o limite em uma unidade, ou seja, decisões com seis disciplinas e UCH total menor ou igual a cinco seriam aceitas, enquanto decisões com sete disciplinas e UCH total menor ou igual a cinco não.

Outro ponto que deve ser destacado é o de quais disciplinas foram priorizadas pelo sistema, principalmente no primeiro estágio. Nele duas disciplinas optativas (G002 e G003) foram sequenciadas, sendo que sua única urgência é o atraso. Fora esse fator, dificilmente causariam problemas para o aluno se não fossem sequenciadas logo no primeiro estágio já que não são pré-requisitos de outras disciplinas. Sendo assim, elas poderiam ser sequenciadas em semestres diferentes para que o aluno não curse duas disciplinas optativas no mesmo semestre, ou sequenciadas em estágios finais. Métodos para realizar essa ponderação quanto a disciplinas optativas ou eletivas podem beneficiar o sistema, melhorando o sequenciamento provido ao aluno.

4.5.3 Cenário 2

Ao contrário do cenário anterior, neste existe diferença considerável entre o tempo de curso do aluno e a carga-horária cursada. Ele está no oitavo semestre do curso, mas cursou apenas metade da carga horária do mesmo. Apesar disso evitou atrasos no caminho crítico, o que permite que conclua o curso no prazo que estipulou de 2 anos (4 semestres). Mas, ao priorizar o caminho crítico atrasou disciplinas que não eram pré-requisitos de outras disciplinas. Foi também estipulado que um aluno que chegue nessa situação não conseguiu cursar as disciplinas na quantidade por semestre que a matriz curricular propõe. Como é um aluno fictício, para início dos testes foi definido que ele pode cursar no máximo 4 disciplinas por semestre e no mínimo uma.

Já o Coordenador não indica que disciplinas específicas acontecem apenas nos semestres pares ou ímpares, nem disciplinas que acontecem nas férias. Apenas definindo que o aluno deve cursar no máximo 6 disciplinas, e no mínimo 3. A Instituição indica apenas que o próximo semestre regular é o primeiro semestre do ano, considerando ainda que o aluno começou o curso como no Cenário Base.

Além dessas definições, no APÊNDICE M pode ser constatado um empecilho claro para que o prazo estipulado seja cumprido. A UCH total que o aluno tem pendente (20 UCH) dividida pelo prazo estipulado (4 semestres) resulta em 5 UCH por semestre, o que está acima do máximo estipulado por ele, indicando que, considerando apenas essa informação, a conclusão do curso no prazo estipulado não é factível. Após a apresentação dos resultados, adaptações do *input* serão sugeridas.

4.5.3.1 Resultados do Cenário 2

O problema deste cenário foi dividido em quatro estágios, já que o prazo estipulado pelo aluno era menor do que o do Cenário 1. Quanto aos resultados do sequenciamento, como pode ser verificado nas tabelas dos estágios presentes no APÊNDICE N, o sistema não encontrou soluções viáveis, ou seja, nenhum estado terminal foi encontrado após as decisões ótimas no quarto estágio. Em combinações variadas, as disciplinas do Quadro 16 ficaram pendentes após definidas as decisões ótimas do quarto estágio.

Quadro 16 - Disciplinas que ficaram pendentes ao fim do sequenciamento do cenário 2

| Semestre | Código | Descrição |
|----------|--------|--|
| 9 | E022 | Estágio em Engenharia Mecânica |
| 10 | B024 | Análise de Investimentos em Engenharia EaD |
| 10 | B025 | Gestão da Produção EaD |
| 10 | E024 | Projeto Integrado: Produto e Fábrica |
| 10 | E026 | Trabalho de Conclusão de Curso II |
| 10 | E025 | Eletiva EaD |

Fonte: O Autor (2020)

Cada decisão ótima resultou em conjuntos de quatro dessas disciplinas, que são as disciplinas que ficaram pendentes. Por sua vez, esses conjuntos de disciplinas pendentes seriam os estados iniciais de um quinto estágio, onde possivelmente seriam definidas decisões ótimas, que por sua vez poderiam resultar em estados terminais. O Quadro 17 mostra quais os sete estados em que esse quinto estágio poderia se encontrar, com uma identificação para facilitar referências futuras no texto.

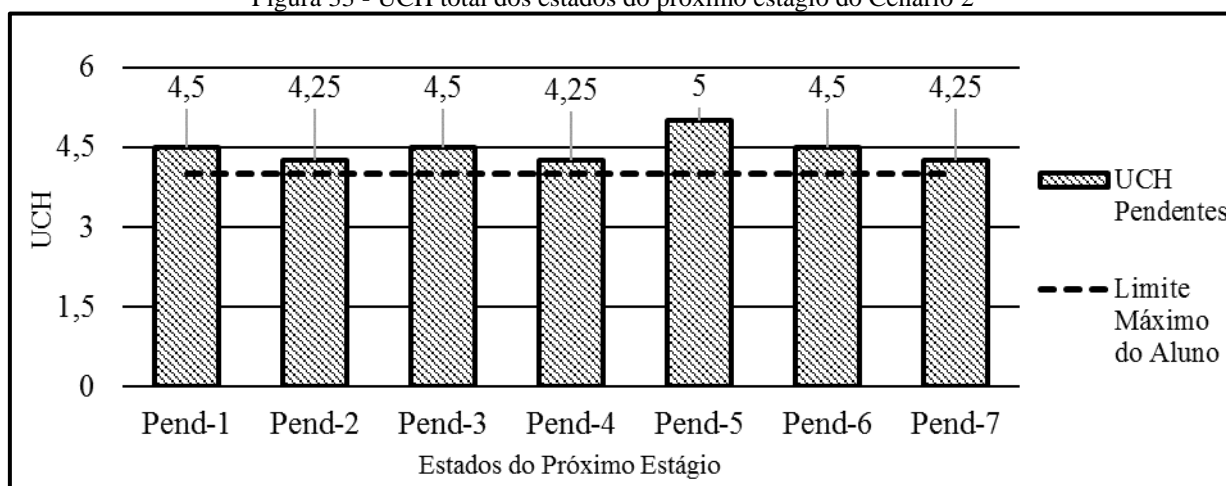
Quadro 17 – Estados iniciais do estágio seguinte ao quarto estágio da resolução do Cenário 2

| Identificação | Estados Iniciais do Próximo Estágio |
|---------------|-------------------------------------|
| Pend-1 | E024, E022, B024, B025 |
| Pend-2 | E024, E022, E026, B024 |
| Pend-3 | E025, E022, B024, B025 |
| Pend-4 | E025, E022, E026, B024 |
| Pend-5 | E025, E024, E022, B024 |
| Pend-6 | E025, E024, E022, B025 |
| Pend-7 | E025, E024, E022, E026 |

Fonte: O Autor (

A Figura 33 plota as UCH totais desses estados, comparados com o limite máximo de disciplinas por semestre do Aluno. Como fica claro, a UCH total do conjunto de disciplinas que compõem cada estado é maior que o limite do Aluno, indicando que com apenas um estágio a mais o sistema ainda não encontraria soluções viáveis.

Figura 33 - UCH total dos estados do próximo estágio do Cenário 2



Fonte: O Autor (2020)

Para que se encontre uma solução viável, além de aumentar o prazo, também existe a possibilidade de aumentar o limite máximo de disciplinas que o aluno pode cursar por semestre. Para fins deste trabalho esse limite foi igualado ao UCH Pendente dividido pelo prazo, que é apresentado no APÊNDICE M.

Então, foram testados dois ajustes com o intuito de encontrar soluções viáveis para o problema. Primeiramente foi testado o aumento no prazo estipulado pelo aluno, que passou de quatro semestres para seis semestres. E em seguida, foi testado o aumento do limite máximo de disciplinas por semestre, que aumentou de quatro para cinco. Visando que uma solução viável seja encontrada com o mínimo de alterações possíveis, foram alterados apenas parâmetros do Aluno.

Visto que, em uma situação real, ações do Coordenador exigiriam ajustes na programação acadêmica, que acaba envolvendo a vida acadêmica de outros alunos. Quando, apenas adequando as expectativas do Aluno resultados satisfatórios já podem ser encontrados. Sem arriscar que o Coordenador ajuste a programação para favorecer esse Aluno, e acabe prejudicando outro sem que perceba.

4.5.3.2 Resultados do Cenário 2 com Ajuste do Prazo

Com o aumento do prazo de conclusão do Aluno para 6 semestres, o sistema encontrou soluções viáveis. A resolução tabular do problema está presente no APÊNDICE O, mostrando no sexto estágio que o retorno ótimo foi de 105164 para todas as decisões ótimas. Complementarmente, no APÊNDICE P estão listadas todas as 189 seqüências de decisões ótimas que resultam nesse retorno. Elas foram encontradas relacionando os estados iniciais de um estado com o final do seu anterior, e assim sucessivamente para listar todos os possíveis

caminhos do aluno. E até o quarto estágio as tabelas continuaram as mesmas, houve apenas a adição de duas novas tabelas.

Mesmo a quantidade de “caminhos” tendo sido grande, são todas possibilidades factíveis para o Aluno. Ele então poderia escolher qualquer um desses, e teria o mesmo retorno resultante da função de retorno. Para que o sistema diminuísse a gama de caminhos disponíveis, a função de retorno ou o método de criação de decisões precisaria ser ajustado.

4.5.3.3 Resultados do Cenário 2 com Ajuste do Limite Máximo

Sem que o prazo de conclusão do Aluno seja alterado, a segunda opção foi alterar o limite máximo de disciplinas. No APÊNDICE Q consta a resolução tabular do problema com o limite máximo do Aluno elevado para 5 disciplinas, onde é possível verificar que no quarto estágio não foi encontrada uma solução viável, ou seja, o aumento não surtiu o efeito desejado.

Teoricamente, se nos quatro estágios as decisões ótimas tivessem 5 UCH uma solução viável teria sido encontrada, pois os quatro estágios somariam 20 UCH (total pendente do Aluno). Entretanto, a Tabela 2, que contém todas as decisões ótimas encontradas durante a resolução do problema, mostra que apenas três decisões atingem o UCH necessário, além de a decisão ótima no segundo estágio tem 4,75 UCH, deixando um débito de 0,25 UCH a ser sanado pelas decisões seguintes.

Tabela 2 - Decisões ótimas do Cenário 2 com ajuste do limite máximo

| ID | Estágio | Conjunto de Disciplinas | UCH | Qtd. Disciplinas | Limite Máximo do Aluno |
|----|---------|--|------|------------------|------------------------|
| 1 | 1 | B005, B014, E001, E014, E017, G001, G003 | 5 | 7 | 5 |
| 2 | 2 | E008, E009, E010, E019, E021, E023 | 4,75 | 6 | 5 |
| 3 | 3 | E013, E015, E016, E018, E020, E026 | 4,75 | 6 | 5 |
| 4 | 3 | B025, E013, E015, E016, E018, E020 | 5 | 6 | 5 |
| 5 | 4 | B024, B025, E022, E024 | 5 | 4 | 5 |
| 6 | 4 | B024, B025, E022, E025 | 4,5 | 4 | 5 |
| 7 | 4 | B025, E022, E024, E025 | 4,5 | 4 | 5 |
| 8 | 4 | B024, E022, E024, E025 | 4,25 | 4 | 5 |
| 9 | 4 | B024, E022, E024, E026 | 4,25 | 4 | 5 |
| 10 | 4 | B024, E022, E025, E026 | 4,5 | 4 | 5 |
| 11 | 4 | E022, E024, E025, E026 | 4,25 | 4 | 5 |

Fonte: O Autor (2020)

Assim, como no Cenário 1 o sistema priorizou disciplinas optativas (G001 e G003) que estavam atrasadas, sendo que elas poderiam ter sido sequenciadas em outros estágios sem que atrasassem as demais disciplinas. Mas também os resultados mostram que pode ser necessário mais um ajuste ao sistema, para equilibrar o UCH das decisões entre os estágios.

Como no caso deste cenário, em que o sequenciamento tinha que cumprir estritamente o limite de 5 UCH, decisões que cumprissem esse critério teriam que ser priorizadas ante quaisquer outras.

4.5.4 Cenário 3

Este último cenário simula o sequenciamento para um aluno que já chegou no décimo semestre, mas ainda tem disciplinas pendentes. Além disso pretende concluir o curso rapidamente, no máximo em dois semestres. O Coordenador não indica que disciplinas específicas acontecem apenas nos semestres pares ou ímpares, nem disciplinas que acontecem nas férias. A Instituição indica apenas que o próximo semestre regular é o primeiro semestre do ano. Para fins deste trabalho não se considerou que existem impedimentos para o número de disciplinas que acontecem nas férias, apesar dessa escolha poder diferir da situação real. Buscou-se demonstrar que o sistema consegue considerar os períodos de férias quando necessário.

Como pode ser verificado no APÊNDICE R a UCH total que o aluno tem pendente 7 UCHs, que divididas pelo prazo estipulado de 2 semestres resultam em 3,5 UCH por semestre. Para que isso não seja um impedimento para o cumprimento do prazo estipulado o máximo de disciplinas ele se dispõe a cursar foi definido como 4, e o mínimo 1. Os máximos e mínimos dos demais atores foram mantidos como no cenário anterior, 6 e 3 para o Coordenador e 12 e 1 para a Instituição. O último diferencial deste cenário é que houve atraso no caminho crítico, já que a disciplina B023 ainda não foi cursada.

4.5.4.1 Resultados do Cenário 3

O APÊNDICE S contém a resolução tabular do cenário, onde é possível verificar que o sistema não encontrou solução viável, deixando de sequenciar duas disciplinas, E019 (Projeto de Sistemas Mecânicos II) e E023 (Fundamentos de Acústica para Engenharia). Ambas são disciplinas finais do caminho crítico, que como definido na descrição do problema, estava atrasado. Analisando as decisões ótimas pode ser verificado que no primeiro estágio foi colocada apenas a disciplina B023 do caminho crítico, e no seguinte as E011, E012 e E014. Faltando cursar a E023 e a E019, como pode ser verificado pelo Quadro 18, que mostra as decisões ótimas em cada estágio, bem como as disciplinas que não foram sequenciadas.

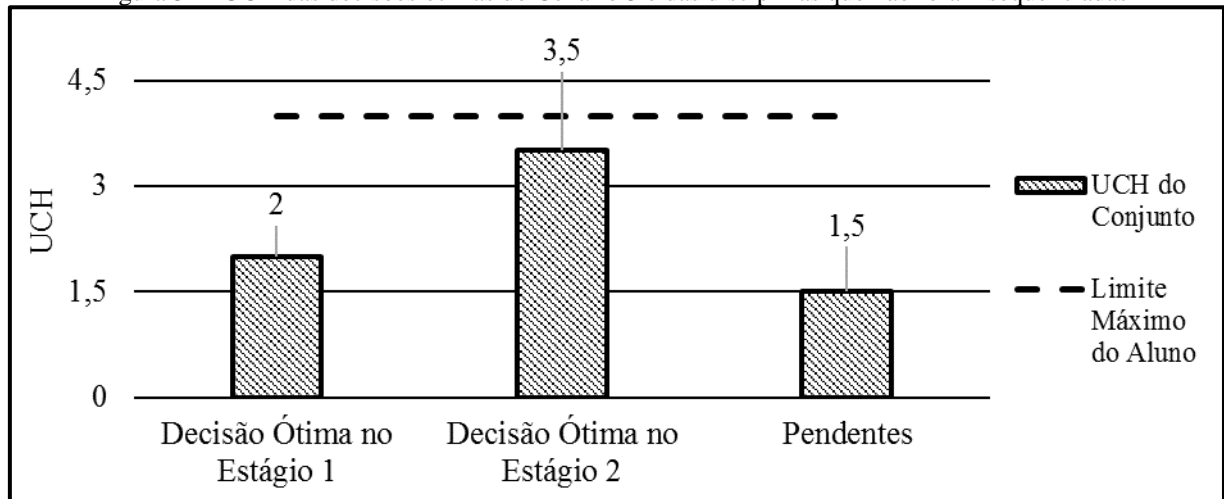
Quadro 18 - Decisões ótimas do Cenário 3 e disciplinas que não foram sequenciadas

| Descrição | Conjunto de Disciplinas |
|----------------------------|-------------------------|
| Decisão Ótima no Estágio 1 | E024, B023 |
| Decisão Ótima no Estágio 2 | E014, E011, E016, E012 |
| Pendentes | E023, E019 |

Fonte: O Autor (2020)

Aumentar o limite de disciplinas que o Aluno pode cursar não solucionaria o problema, vide Figura 34. Nenhuma das decisões atingiu o máximo do Aluno, e “sobraram” 2 UCH no estágio 1 e 0,5 UCH no estágio 2, enquanto o UCH das disciplinas que ficaram pendentes foi 1,5 UCH, menos do que a “sobra” total dos dois estágios (sobra estágio 1 + sobra estágio 2 = 2 UCH + 0,5 UCH = 2,5 UCH).

Figura 34 - UCH das decisões ótimas do Cenário 3 e das disciplinas que não foram sequenciadas



Fonte: O Autor (2020)

Logo, o empecilho para atingir o prazo do aluno está na relação de pré-requisito, que exige que o aluno siga a ordem determinada, de cursar primeiro a disciplina B023, depois as disciplinas E011 e E014, para só após cursar as disciplinas E023 e E019, sendo necessários no mínimo três períodos para que ele consiga seguir essas regras.

Visto que o sistema não tem implementado quebras de pré-requisito, nem era escopo do trabalho que tivesse, a alternativa que dispõe são os estágios de férias. Em uma situação real o Aluno teria que se mostrar disposto, mas também o Coordenador teria que verificar se as disciplinas que ele precisa estão sendo programadas ou programa as disciplinas especialmente para ele. Para fins desse trabalho será considerado então que o aluno se dispôs, e que o Coordenador pode programar as disciplinas especialmente para ele. A seguir são descritos os testes e resultados para o cenário em que o aluno pode cursar disciplinas nas férias, mas apenas nas férias de Verão ou nas de Inverno.

4.5.4.2 Resultados do Cenário Alternativo 3 com Férias

Como consta nos *inputs* da Instituição, presente no APÊNDICE R, o próximo semestre regular é o segundo. Sendo assim o Aluno pode cursar disciplinas das férias de Inverno, antes do primeiro semestre regular, ou nas férias de Verão, entre os dois semestres regulares. O Coordenador precisa então se valer desses períodos, para programar disciplinas que permitam que o Aluno cumpra seus prazos. Ele pode tanto programar a disciplina B023 nas férias de inverno, sobrando dois semestres regulares para cursar as demais disciplinas, quanto programar as disciplinas E011 e E014 nas férias de Verão, mas o aluno teria que cursar duas disciplinas de férias.

No caso de o Aluno estar disposto a cursar disciplinas nas férias de inverno, com o Coordenador programando a disciplina B023 nesse período, o sistema encontrou solução viável. No APÊNDICE T está a resolução tabular do problema, e o Quadro 19 mostra o sequenciamento que o sistema encontrou.

Quadro 19 - Sequenciamento do Cenário 3 com Férias de Inverno

| Estágio | Tipo do Período | Conjunto de Disciplinas |
|----------------|------------------------|--------------------------------|
| 1 | Férias de Inverno | B023 |
| 2 | Semestre Par | E011, E012, E014, E016 |
| 3 | Semestre Ímpar | E019, E023, E024 |

Fonte: O Autor (2020)

No caso de o Aluno estar disposto a cursar disciplinas nas férias de inverno, com o Coordenador programando as disciplinas E011, E014 nesse período, o sistema encontrou solução viável. No APÊNDICE U está a resolução tabular do problema, e o Quadro 20 mostra o sequenciamento que o sistema encontrou.

Quadro 20 - Sequenciamento do Cenário 3 com Férias de Verão

| Estágio | Tipo do Período | Conjunto de Disciplinas |
|----------------|------------------------|--------------------------------|
| 1 | Semestre Par | B023, E024 |
| 2 | Férias de Verão | E011, E014 |
| 3 | Semestre Ímpar | E016, E019, E023, E012 |

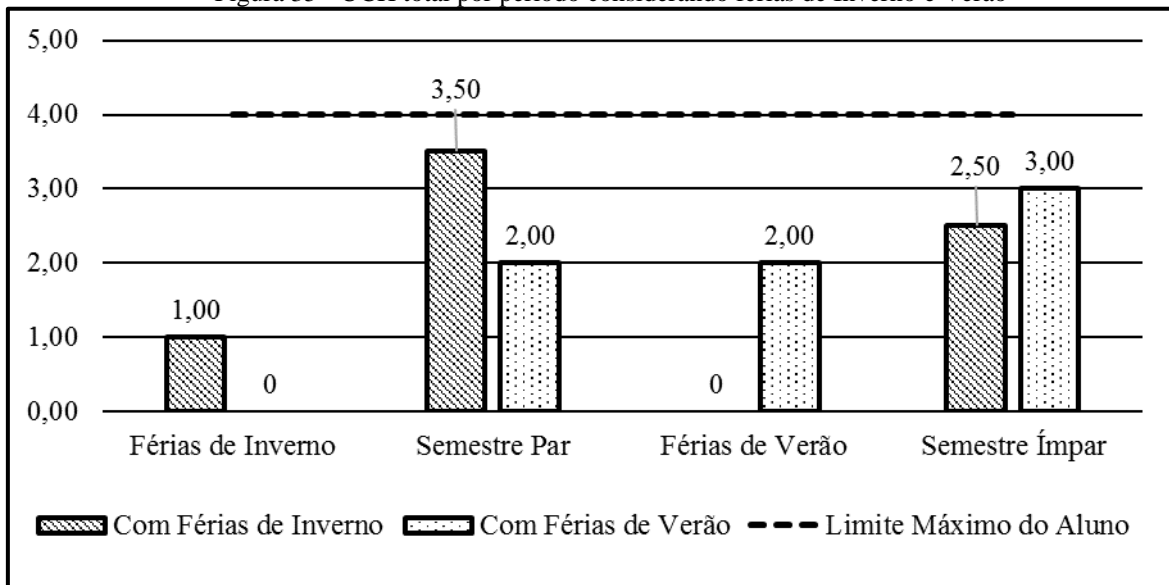
Fonte: O Autor (2020)

Desta forma o aluno consegue cumprir o prazo de conclusão de curso, já que o prazo é considerado como se referindo a períodos regulares. Entretanto é necessário comentar sobre diferenças entre os dois casos, principalmente com respeito à UCH por período. Primeiramente, no caso que considera as férias de Verão, o aluno tem que cursar duas disciplinas em um período

em que as aulas já são condensadas, levantando-se o questionamento de se ele conseguiria realizar essa carga de estudos, ou até se a absorção e aproveitamento das disciplinas para o aluno não seriam prejudicadas.

Ademais, a UCH das decisões ótimas em ambos os casos ficou abaixo do limite máximo do Aluno, como pode ser verificado nos dados plotados na Figura 35. Valendo ressaltar que no caso da decisão ótima no Semestre Par do caso com férias de Inverno, a disciplinas E012 poderia ter sido colocada no Semestre Ímpar. Mas devido a priorização que o sistema dá às disciplinas mais atrasadas e a relação de pré-requisito parcial como a disciplina E011, ela foi colocada nesse semestre, enquanto, se fosse colocada no Semestre Ímpar, o UCH entre os períodos regulares teria sido o mesmo.

Figura 35 - UCH total por período considerando férias de Inverno e Verão



Fonte: O Autor (2020).

Sendo assim, o sistema conseguiu sequenciar as disciplinas para o aluno nesse caso especial, e dispôs de soluções para os impedimentos que ele encontrou para atingir seus objetivos. Também, mais um caso de o sistema não considerar o balanceamento de UCH entre os períodos aconteceu, no caso do sequenciamento considerando as férias de Inverno, no qual, com a disciplina E012 sequenciada no Semestre Ímpar os períodos teriam a mesma UCH.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho desenvolveu um sistema que procura soluções viáveis por meio da Programação Dinâmica, para o problema do sequenciamento de disciplinas que um aluno do Bacharelado em Engenharia Mecânica da Universidade de Caxias do Sul precisa cursar para concluir o curso, independente do ponto do curso em que se encontra.

Considera-se que a matriz curricular foi satisfatoriamente mapeada. O estudo das estruturas de pré-requisitos existente entre as disciplinas permitiu a visualização dos caminhos que o aluno percorre, com base na lógica da construção do conhecimento inerente a essa estrutura. Foram definidos os tipos de pré-requisitos, e destacado que os co-requisitos não estavam presentes na matriz. Foi possível destacar qual é o caminho crítico, e a atenção que as disciplinas que o compõem devem receber para não atrasarem. Também foi possível definir qual o maior caminho a partir de cada disciplinas considerando os pré-requisitos, medida que foi utilizada posteriormente para estimar o peso das disciplinas, que por sua vez faziam parte na função de retorno.

Três atores que participam do processo foram definidos, o Aluno, o Coordenador e a Instituição, cada um possuindo inputs próprios, assim como alguns comuns entre eles. Todos os atores poderiam informar limites máximos e mínimos de disciplinas que o aluno poderia cursar, e a informação de qual seria a final foi definida posteriormente durante a fase de modelagem computacional.

O Aluno proveu inputs de histórico, como em qual semestre do curso ele está e quais disciplinas já cursou, assim como qual o prazo de conclusão deseja, e se está disposto a cursar disciplinas no período de férias entre os semestres. Já o Coordenador tinha a opção de informar quais disciplinas aconteciam nesses períodos de férias, que o aluno porventura poderia cursar. Mas também podia definir disciplinas tinham apenas oferta anual, ou seja, são ofertadas apenas no primeiro ou segundo semestre do ano. Por fim, a instituição podia posicionar temporalmente o problema, informando qual o próximo semestre regular.

Considera-se que foram definidos atores e *inputs* satisfatórios, para o problema proposto. Não se teve a pretensão de que representassem todas as situações encontradas na instituição. E apesar de nesse trabalho o Aluno ser responsável pelas informações de histórico, entende-se que em uma situação real essas informações seriam providas pelo sistema da Instituição. Mas se optou por não serem inputs da Instituição, para que os *inputs* desta representassem parâmetros válidos para todos os alunos e não apenas para o que está tendo as disciplinas sequenciadas.

O problema foi definido nos termos da Programação Dinâmica (PD), separando-o em estágios, estados e decisões. Os critérios para que uma política fosse considerada ótima também foram definidos, e posteriormente traduzidos em pesos que compunham o peso atribuído as disciplinas em cada estágio. Sendo assim, o retorno de uma decisão em um estágio era o somatório dos pesos de cada disciplina que a compunham, e o problema seria resolvido recursivamente somando os retornos das decisões em cada estágio.

O problema da dimensionalidade também foi apresentado, mostrando que quanto mais disciplinas estivessem disponíveis para formar uma decisão e quanto maior fossem as combinações permitidas, a quantidade de possíveis decisões crescia a números impraticáveis. Apesar de o código não ter sido transcrito no trabalho, a "construção" do software foi explicada, citando as técnicas de programação utilizadas, as entidades criadas, suas relações, seus comportamentos e o processos decisórios para encontrar soluções viáveis. Se considera que os cenários propostos representaram bem o funcionamento do sistema, e a sua capacidade de definir políticas ótimas para os problemas propostos.

Sugere-se que em trabalhos futuros o mapeamento da matriz seja estendido para demais cursos da instituição, e que o cenário base seja rodado para eles, com o intuito de verificar se as relações de pré-requisito estão em convergência com a disposição das disciplinas nas matrizes. Os inputs dos atores podem ser mais trabalhados, com discentes e docentes para que refletissem mais as realidades encontradas na instituição, além de consulta com autoridades da instituição, para que os inputs desta sejam expandidos.

A modelagem pode ser aprimorada para incluir o balanceamento das decisões e ponderação de disciplina não urgentes, como relatado anteriormente. Testes com mais perfis fictícios, e reais, são recomendados, tanto com o curso foco deste trabalho quanto com possíveis cursos que passem pela mesma análise, para que novos *insights* do comportamento do sistema sejam encontrados, e novos pontos de melhoria sejam encontrados.

REFERÊNCIAS

ABENSUR, Eder Oliveira. A substituição de bens de capital: um modelo de otimização sob a óptica da Engenharia de Produção. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 22, n. 3, 4 Setembro 2015, p. 525-538. <http://dx.doi.org/10.1590/0104-530X1690-14>.

ALDRICH, Preston R. The curriculum prerequisite network: modeling the curriculum as a complex system. **Biochemistry And Molecular Biology Education**, v. 43, n. 3, 24 Fevereiro 2015, p. 168-180. <http://dx.doi.org/10.1002/bmb.20861>.

ARENALES, Marcos et al. **Pesquisa Operacional para Cursos de Engenharia**. 2ª. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

BELLMAN, Richard. The Theory of Dynamic Programming. **Bulletin of the American Mathematical Society**, v. 60, n. 6, nov. 1954, p. 503-515. Disponível em: <<https://projecteuclid.org:443/euclid.bams/1183519147>>.

BRASIL. [Constituição (1996)]. **Lei nº 9394, de 20 de dezembro de 1996**. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. Brasília, [1996]. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19394.htm>. Acesso em: 1 jun. 2019.

BRASIL. **Decreto nº 9235, de 15 de dezembro de 2017**. Dispõe sobre o exercício das funções de regulação, supervisão e avaliação das instituições de educação superior e dos cursos superiores de graduação e de pós-graduação no sistema federal de ensino. Brasília, [2017]. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/decreto/d9235.htm>. Acesso em: 1 jun. 2019.

CAMPOS, Sílvia Regina Machado de; HENRIQUES, Roberto; YANAZE, Mitsuru Higuchi. Higher education in Brazil: an exploratory study based on supply and demand conditions. **Universal Access In The Information Society**, [s.l.], v. 17, n. 4, 10 abr 2017, p. 711-733. <http://dx.doi.org/10.1007/s10209-017-0537-9>.

CHRISTOFIDES, Nicos; HADJICONSTANTINO, Eleni. An exact algorithm for orthogonal 2-D cutting problems using guillotine cuts. **European Journal Of Operational Research**, [s.i.], v. 83, maio 1995, p. 21-38. [http://dx.doi.org/10.1016/0377-2217\(93\)e0277-5](http://dx.doi.org/10.1016/0377-2217(93)e0277-5).

FILHO, Antonio Martins Lima; GUALDA, Nicolau D. Fares. Programação dinâmica aplicada à alocação de recursos no transporte de cargas. **Transportes**, [S.I.], v. 16, n. 2, 15 Setembro 2008, p. 41-47. <http://dx.doi.org/10.14295/transportes.v16i2.27>.

FIGUEIREDO, Cristina. **O modelo comunitário de universidade e o tensionamento público-privado: entre o capitalismo acadêmico e o compromisso social**. 2017. 316 f. Tese

(Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Programa de Pós-Graduação em Sociologia, Porto Alegre, 2017.

FIGLIANO, Cristina; MCCOWAN, Tristan. Community universities in the South of Brazil: prospects and challenges of a model of non-state public higher education. **Comparative Education**, [s.l.], v. 54, n. 3, 6 fev. 2018, p. 370-389. <http://dx.doi.org/10.1080/03050068.2018.1433651>.

FURLANI, Lúcia Teixeira Maria. **A claridade da noite**: os alunos do ensino superior noturno. São Paulo: Cortez, 1998.

HILLIER, Frederick S; LIEBERMAN, Gerald J. **Introdução à pesquisa operacional**. Tradução de Ariovaldo Griesi. 9. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

INEP. Exame Nacional de Desempenho dos Estudantes (Enade). **Site do Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira**, 2019. Disponível em: <<http://portal.inep.gov.br/enade>>. Acesso em: 1 Abril 2020.

INEP, Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. **Sinopse Estatística da Educação Superior 2017**. Brasília: Inep, 2018. Disponível em: <<http://portal.inep.gov.br/basico-censo-escolar-sinopse-sinopse>>. Acesso em: 23 fev. 2019.

JOHNES, Jill. Operational Research in education. **European Journal Of Operational Research**, [s.l.], v. 243, n. 3, jun. 2015, p. 683-696. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2014.10.043>.

JULA, Hossein et al. Container movement by trucks in metropolitan networks: modeling and optimization. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 41, n. 3, maio 2005, p. 235-259. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tre.2004.03.003>.

LU, Jie et al. Recommender system application developments: A survey. **Decision Support Systems**, [s.l.], v. 74, Junho 2015, p. 12-32. [10.1016/j.dss.2015.03.008](https://doi.org/10.1016/j.dss.2015.03.008).

LÜA, Linyuan et al. Recommender systems. **Physics Reports**, [s.l.], v. 519, n. 1, Outubro 2012, p. 1-49. [10.1016/j.physrep.2012.02.006](https://doi.org/10.1016/j.physrep.2012.02.006).

LUGER, George F. **Inteligência artificial**. Tradução de Daniel Vieira. 6. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2013.

MCCOWAN, Tristan. The growth of private higher education in Brazil: implications for equity and quality. **Journal Of Education Policy**, [s.l.], v. 19, n. 4, jul. 2004, p. 453-472. <http://dx.doi.org/10.1080/0268093042000227492>.

MCCOWAN, Tristan. Expansion without equity: An analysis of current policy on access to higher education in Brazil. **Higher Education**, [s.l.], v. 53, n. 5, mai. 2007, p. 579-598. <http://dx.doi.org/10.1007/s10734-005-0097-4>.

PARK, Deuk Hee et al. A literature review and classification of recommender systems research. **Expert Systems with Applications**, [s.i.], v. 39, n. 11, Setembro 2012, p. 10059-10072. 10.1016/j.eswa.2012.02.038.

PEREA, Federico; PUERTO, Justo. Dynamic programming analysis of the TV game “Who wants to be a millionaire?”. **European Journal of Operational Research**, v. 183, n. 2, Dezembro 2007, p. 805-811. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2006.10.041>.

RAND CORPORATION, The. History and Mission. **Site da RAND Corporation**, 2019. Disponível em: <<https://www.rand.org/about/history.html>>. Acesso em: 23 Outubro 2019.

RAVIDRAN, A; PHILLIPS, Don T; SOLBERG, James J. **Operations Research: Principles and Practice**. 2. ed. New York: Wiley, 1987.

RECH, Gelson Leonardo; PAVIANI, Jayme. **Origens da Universidade de Caxias do Sul: as escolas e as faculdades isoladas**. 1ª. ed. Caxias do Sul: Educs, 2018. 340 p.

ROCHA, Carlos Henrique; GRANEMANN, Sérgio Ronaldo (Orgs.). **Gestão de Instituições Privadas de Ensino Superior**. São Paulo: Atlas, 2003.

SALTO, Dante J. To profit or not to profit: the private higher education sector in Brazil. **Higher Education**, [s.i.], v. 75, n. 5, 2 ago. 2017, p. 809-825. <http://dx.doi.org/10.1007/s10734-017-0171-8>.

SAMPAIO, Helena Maria Sant'Ana. **O ensino superior no Brasil: o setor privado**. São Paulo: Hucitec, FAPESP, 2000. 392 p.

SILVA, Lauraci Dondé da. Orientação Educacional: Uma necessidade para o Ensino Superior?, 1998. 100 f. Tese (Doutorado - Curso de Facultad de Ciencias de La Educación), Universidad Pontificia de Salamanca, Salamanca, 1998.

SMITH, David K. Dynamic programming and board games: A survey. **European Journal of Operational Research**, v. 176, n. 3, Fevereiro 2007, p. 1299-1318. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2005.10.026>.

SOARES, Maria Susana Arrosa (Org.). **A Educação Superior no Brasil**. 1ª. ed. Brasília: CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, 2002. 304 p.

TAHA, Hamdy A. **Pesquisa Operacional: uma visão geral**. Tradução de Arlete Simille Marques. 8ª. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

TOLEDO, Franklina Maria Bragion de; SHIGUEMOTO, André Luís. Lot-sizing problem with several production centers. **Pesquisa Operacional**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 3, Dezembro 2005, p. 479-492. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-74382005000300010>.

UCS. Universidade de Caxias do Sul: Uma Instituição Comunitária de Educação Superior (ICES), 2019. Disponível em: <<https://www.ucs.br/site/institucional/>>. Acesso em: 7 mar. 2019.

UCS. EXAME NACIONAL DE DESEMPENHO DE ESTUDANTES. **Site da Universidade de Caxias do Sul, UCS**, 2020. Disponível em: <<https://www.ucs.br/site/institucional/avaliacao/avaliacao-externa/enade/>>. Acesso em: 01 Abril 2020.

UCS, Universidade de Caxias do Sul. Reforma pedagógica torna cursos mais práticos, conectados e flexíveis, 2017. Disponível em: <<https://www.ucs.br/site/noticias/15885/>>. Acesso em: 9 Novembro 2019.

XU, Jie; XING, Tianwei; SCHAAR, Mihaela van Der. Personalized Course Sequence Recommendations. **Ieee Transactions on Signal Processing**, [s.l], v. 64, n. 20, 15 Outubro 2016, p. 5340-5352. <http://dx.doi.org/10.1109/tsp.2016.2595495>.

GLOSSÁRIO

Ator(es): entidades envolvidas no processo decisório visto que tem interesses no resultado deste, ou podem prover informações vitais para ele. Podem ser pessoas físicas como os Alunos e Coordenadores, ou jurídicas como a Instituição.

Construtor: entidade responsável por combinar as entidades que representam os Estágios na ordem correta.

Estágio: partes em que um problema solucionável por meio da Programação Dinâmica pode ser dividido, usualmente pontos de tomada de decisão.

Estado: possível estado em que o problema pode se encontrar em um determinado estágio e contém as informações necessárias para tomada de decisão.

Decisão: escolha baseada em um estado que o problema se encontra que altera o sistema, gerando novos possíveis estados para estágios seguintes do problema.

Função de Retorno: função que reflete o incremento ou custo da tomada de uma decisão com base em um determinado estado do sistema.

Período Regular: período em que as aulas das disciplinas acontecem semanalmente, sendo dois períodos por ano. O primeiro período regular do ano acontece normalmente entre março e julho, e o segundo período regular acontece normalmente entre agosto e dezembro.

Período de Férias: período em que as aulas das disciplinas acontecem no formato intensivo de duas semanas, entre os Períodos Regulares. O período de férias de verão acontece em fevereiro, e o período de férias de inverno acontece em julho.

Política: sequência coerente de decisões que devem ser tomadas em um problema como um todo que resulte em uma solução viável.

Política Ótima: é uma Política que maximize ou minimize, dependendo do contexto do problema, o valor da Função de Retorno.

Programação Dinâmica: técnica da Pesquisa Operacional em que se procura solucionar um problema decisório decompondo-o em problemas menores e recombinação das soluções para encontrar a solução do problema original.

Sequenciador: entidade que com base na entidade Contexto e Currículo, entrega para os usuários recomendações de sequenciamentos.

Unidade de Carga Horária (UCH): unidade padrão para a carga-horária, que permite uma tradução direta para o peso que essas exercem no planejamento semestral dos alunos.

ANEXO A - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO PERFIL DE FORMAÇÃO DO CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

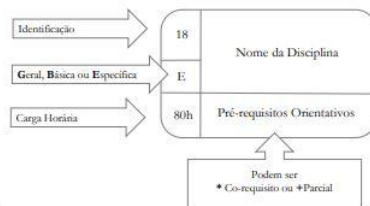
MECÂNICA

REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO PERFIL DE FORMAÇÃO DO CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA
 Código do Curso: GRA014122R - GRA014660R
 Carga Horária Total: 3640h + 360h de Atividades Complementares = 4000h + ENADE

G Formação Geral **E** Formação Específica
B Formação Básica



| 1º Semestre | | 2º Semestre | | 3º Semestre | | 4º Semestre | | 5º Semestre | | 6º Semestre | | 7º Semestre | | 8º Semestre | | 9º Semestre | | 10º Semestre | |
|---------------|-------------------------------------|----------------|--|----------------|---|----------------|--|----------------|---|----------------|---------------------------------------|----------------|---|----------------|---|-----------------|--|----------------|--|
| 1 B 80h | Tópicos de Ciências Exatas | 7 G 80h | Sociedade, Cultura e Cidadania EaD | 12 B 80h | Fenômenos Térmicos e Ondulatórios 9+ | 18 G 40h | Optativa de Formação Geral EaD | 24 G 40h | Optativa de Formação Geral EaD | 30 B 80h | Transferência de Calor 25+ | 35 E 80h | Processos de Usinagem 23, 11, 28 | 40 E 80h | Refrigeração e Ar Condicionado 30, 33 | 45 E 40h | Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos | 50 B 80h | Análise de Investimentos em Engenharia EaD 1800 h |
| 2 B 40h | Introdução à Engenharia | 8 B 80h | Dinâmica Translacional e Rotacional 1 | 13 B 80h | Cálculo Diferencial e Integral II 9 | 19 G 40h | Optativa de Formação Geral EaD | 25 B 80h | Mecânica dos Fluidos 12, 13+ | 31 B 80h | Mecânica dos Sólidos II 27 | 36 E 80h | Sistemas Articulados EaD 11, 34 | 41 E 80h | Projeto de Sistemas Mecânicos I 11, 31 | 46 E 80h | Projeto de Sistemas Mecânicos II 41 | 51 B 40h | Gestão da Produção EaD |
| 3 B 80h | Desenho Técnico | 9 B 80h | Cálculo Diferencial e Integral I 1 | 14 B 80h | Geometria Analítica e Álgebra Linear 9 | 20 B 80h | Fundamentos de Eletromagnetismo 8, 9 | 26 B 80h | Eletrotécnica 20 | 32 E 40h | Instrumentação 23 | 37 E 80h | Máquinas Térmicas 33, 30 | 42 E 80h | Máquinas de Fluxo 25 | 47 E 80h | Processos Metalúrgicos 26, 28 | 52 E 40h | Fundamentos de Acústica para Engenharia 38 |
| 4 B 40h | Química Experimental | 10 B 80h | Lógica Computacional e Programação | 15 B 40h | Ciência dos Materiais 4, 1 | 21 B 80h | Cálculo Diferencial e Integral III 13 | 27 B 80h | Mecânica dos Sólidos I 22 | 33 E 80h | Termodinâmica Aplicada 12 | 38 E 80h | Vibrações Mecânicas 32, 13, 31, 34 | 43 E 80h | Processos de Conformação Mecânica 31, 28 | 48 E 20h | Trabalho de Conclusão de Curso I 2400 h | 53 E 80h | Projeto Integrado: Produto e Fábrica 2800 h |
| 5 B 80h | Leitura e Produção de Textos EaD | 11 B 80h | Desenho Técnico Mecânico 3 | 16 B 40h | Gerenciamento Ambiental EaD | 22 B 80h | Estática dos Corpos Rígidos 21, 8 | 28 E 40h | Materiais de Construção Mecânica 15, 29+ | 34 E 80h | Dinâmica dos Corpos Rígidos 14, 22 | 39 E 40h | Projeto Integrado: Modelagem Computacional 30, 31, 38+ | 44 E 40h | Planejamento de Manutenção EaD | 49 E 160h | Estágio em Engenharia Mecânica 2400 h | 54 E 80h | Eletiva EaD |
| 6 E 40h | Higiene e Segurança do Trabalho EaD | | | 17 B 40h | Estatística EaD 9 | 23 E 40h | Metrologia 17 | 29 E 40h | Laboratório de Materiais e Metalografia 15 | | | | | | | | | 55 E 20h | Trabalho de Conclusão de Curso II 48 |



CODREP:1972019154043

Atividades Complementares (incluindo LIBRAS)

Obs.: Língua Brasileira de Sinais - LIBRAS (Decreto nº 5.626/05), o acadêmico poderá cursar com aproveitamento para disciplina eletiva de créditos equivalentes ou como parte de Atividades Complementares.
 ENADE - Exame Nacional de Desempenho de Estudantes, componente curricular obrigatório para a conclusão do curso, instituído pela Lei nº 10.861 de 14-04-2004.

APÊNDICE A - TABELA DA MATRIZ CURRICULAR

(continua)

| Sem | Id | Código | Descrição | UCH | Formação | Tipo | Pré-requisitos Orientativo | Pré-requisitos Parcial | CH Mínima |
|-----|----|--------|---|-----|------------|-------------|----------------------------|------------------------|-----------|
| 1 | 1 | B001 | Tópicos de Ciências Exatas | 1 | Básica | Obrigatória | - | - | 0 |
| 1 | 2 | B002 | Introdução à Engenharia | 0,5 | Básica | Obrigatória | - | - | 0 |
| 1 | 3 | B003 | Desenho Técnico | 1 | Básica | Obrigatória | - | - | 0 |
| 1 | 4 | B004 | Química Experimental | 0,5 | Básica | Obrigatória | - | - | 0 |
| 1 | 5 | B005 | Leitura e Produção de Textos EAD | 1 | Básica | Obrigatória | - | - | 0 |
| 1 | 6 | E001 | Higiene e Segurança do Trabalho EAD | 0,5 | Específica | Obrigatória | - | - | 0 |
| 2 | 7 | G001 | Sociedade, Cultura e Cidadania EaD | 1 | Geral | Obrigatória | - | - | 0 |
| 2 | 8 | B006 | Dinâmica Translacional e Rotacional | 1 | Básica | Obrigatória | B001 | - | 0 |
| 2 | 9 | B007 | Cálculo Diferencial e Integral I | 1 | Básica | Obrigatória | B001 | - | 0 |
| 2 | 10 | B008 | Lógica Computacional e Programação | 1 | Básica | Obrigatória | - | - | 0 |
| 2 | 11 | B009 | Desenho Técnico Mecânico | 1 | Básica | Obrigatória | B003 | - | 0 |
| 3 | 12 | B010 | Fenômenos Térmicos e Ondulatórios | 1 | Básica | Obrigatória | - | B007 | 0 |
| 3 | 13 | B011 | Cálculo Diferencial e Integral II | 1 | Básica | Obrigatória | B007 | - | 0 |
| 3 | 14 | B012 | Geometria Analítica e Álgebra Linear | 1 | Básica | Obrigatória | B007 | - | 0 |
| 3 | 15 | B013 | Ciência dos Materiais | 0,5 | Básica | Obrigatória | B004+B001 | - | 0 |
| 3 | 16 | B014 | Gerenciamento Ambiental EaD | 0,5 | Básica | Obrigatória | - | - | 0 |
| 3 | 17 | B015 | Estatística EaD | 0,5 | Básica | Obrigatória | B007 | - | 0 |
| 4 | 18 | G002 | Optativa de Formação Geral EaD | 0,5 | Geral | Optativa | - | - | 0 |
| 4 | 19 | G003 | Optativa de Formação Geral EaD | 0,5 | Geral | Optativa | - | - | 0 |
| 4 | 20 | B016 | Fundamentos de Eletromagnetismo | 1 | Básica | Obrigatória | B006+B007 | - | 0 |
| 4 | 21 | B017 | Cálculo Diferencial e Integral III | 1 | Básica | Obrigatória | B011 | - | 0 |
| 4 | 22 | B018 | Estática dos Corpos Rígidos | 0,5 | Básica | Obrigatória | B017+B006 | - | 0 |
| 4 | 23 | E002 | Metrologia | 0,5 | Específica | Obrigatória | B015 | - | 0 |
| 5 | 24 | G004 | Optativa de Formação Geral EaD | 0,5 | Geral | Optativa | - | - | 0 |
| 5 | 25 | B019 | Mecânica dos Fluidos | 1 | Básica | Obrigatória | B010 | B011 | 0 |
| 5 | 26 | B020 | Eletrotécnica | 1 | Básica | Obrigatória | B016 | - | 0 |
| 5 | 27 | B021 | Mecânica dos Sólidos I | 1 | Básica | Obrigatória | B018 | - | 0 |
| 5 | 28 | E003 | Materiais de Construção Mecânica | 0,5 | Específica | Obrigatória | B013 | E004 | 0 |
| 5 | 29 | E004 | Laboratório de Materiais e Metalografia | 0,5 | Específica | Obrigatória | B013 | - | 0 |

(conclusão)

| Sem | Id | Código | Descrição | UCH | Formação | Tipo | Pré-requisitos Orientativo | Pré-requisitos Parcial | CH Mínima |
|-----|----|--------|--|------|------------|-------------|----------------------------|------------------------|-----------|
| 6 | 30 | B022 | Transferência de Calor | 1 | Básica | Obrigatória | - | B019 | 0 |
| 6 | 31 | B023 | Mecânica dos Sólidos II | 1 | Básica | Obrigatória | B021 | - | 0 |
| 6 | 32 | E005 | Instrumentação | 0,5 | Específica | Obrigatória | E002 | - | 0 |
| 6 | 33 | E006 | Termodinâmica Aplicada | 1 | Específica | Obrigatória | B010 | - | 0 |
| 6 | 34 | E007 | Dinâmica dos Corpos Rígidos | 1 | Específica | Obrigatória | B012+B018 | - | 0 |
| 7 | 35 | E008 | Processos de Usinagem | 1 | Específica | Obrigatória | E002+B009 +E003 | - | 0 |
| 7 | 36 | E009 | Sistemas Articulados EaD | 1 | Específica | Obrigatória | B009+E007 | - | 0 |
| 7 | 37 | E010 | Máquinas Térmicas | 1 | Específica | Obrigatória | E006+B022 | - | 0 |
| 7 | 38 | E011 | Vibrações Mecânicas | 1 | Específica | Obrigatória | E005+B011 +B023+E007 | - | 0 |
| 7 | 39 | E012 | Projeto Integrado: Modelagem Computacional | 0,5 | Específica | Obrigatória | B022+B023 | E011 | 0 |
| 8 | 40 | E013 | Refrigeração e Ar-Condicionado | 1 | Específica | Obrigatória | B022+E006 | - | 0 |
| 8 | 41 | E014 | Projeto de Sistemas Mecânicos I | 1 | Específica | Obrigatória | B009+B023 | - | 0 |
| 8 | 42 | E015 | Máquinas de Fluxo | 1 | Específica | Obrigatória | B019 | - | 0 |
| 8 | 43 | E016 | Processos de Conformação Mecânica | 1 | Específica | Obrigatória | B023+E003 | - | 0 |
| 8 | 44 | E017 | Planejamento de Manutenção EaD | 0,5 | Específica | Obrigatória | - | - | 0 |
| 9 | 45 | E018 | Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos | 0,5 | Específica | Obrigatória | - | - | 0 |
| 9 | 46 | E019 | Projeto de Sistemas Mecânicos II | 1 | Específica | Obrigatória | E014 | - | 0 |
| 9 | 47 | E020 | Processos Metalúrgicos | 1 | Específica | Obrigatória | B020+E003 | - | 0 |
| 9 | 48 | E021 | Trabalho de Conclusão de Curso I | 0,25 | Específica | Obrigatória | - | - | 30 |
| 9 | 49 | E022 | Estágio em Engenharia Mecânica | 2 | Específica | Obrigatória | - | - | 30 |
| 10 | 50 | B024 | Análise de Investimentos em Engenharia EaD | 1 | Básica | Obrigatória | - | - | 22,5 |
| 10 | 51 | B025 | Gestão da Produção EaD | 0,5 | Básica | Obrigatória | - | - | 0 |
| 10 | 52 | E023 | Fundamentos de Acústica para Engenharia | 0,5 | Específica | Obrigatória | E011 | - | 0 |
| 10 | 53 | E024 | Projeto Integrado: Produto e Fábrica | 1 | Específica | Obrigatória | - | - | 35 |
| 10 | 54 | E025 | Eletiva EaD | 1 | Específica | Eletiva | B012+B018 | - | 0 |
| 10 | 55 | E026 | Trabalho de Conclusão de Curso II | 0,25 | Específica | Obrigatória | E021 | - | 0 |

Fonte: O Autor (2020)

APÊNDICE B - CAMINHOS DA REDE DE PRÉ-REQUISITOS

(continua)

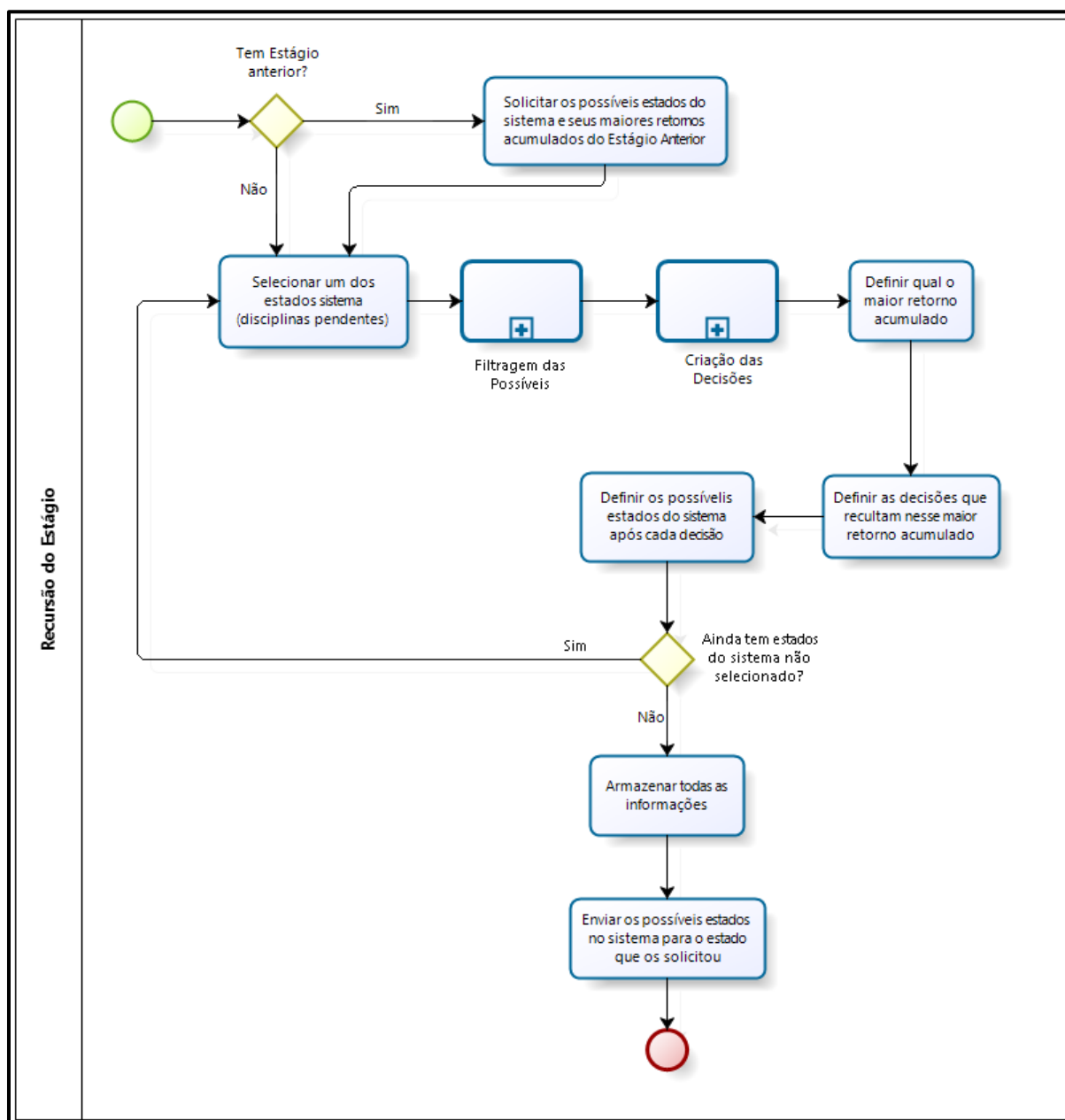
| Editado | Compr. | Com Desconto de Pré-requisitos Parciais* |
|--|--------|--|
| B001→B007→B011→B017→B018→B021→B023→E011 →E023 | 9 | 9 |
| B001→B007→B011→B017→B018→B021→B023→E014 →E019 | 9 | 9 |
| B001→B007→B011→B017→B018→B021→B023→E011 →E012 | 9 | 8 |
| B001→B007→B011→B017→B018→B021→B023→E012 | 8 | 8 |
| B001→B007→B011→B017→B018→B021→B023→E016 | 8 | 8 |
| B001→B007→B011→B017→B018→E007→E011→E023 | 8 | 8 |
| B001→B007→B011→B017→B018→E007→E011→E012 | 8 | 7 |
| B001→B006→B018→B021→B023→E011→E023 | 7 | 7 |
| B001→B006→B018→B021→B023→E014→E019 | 7 | 7 |
| B001→B007→B011→B017→B018→E007→E009 | 7 | 7 |
| B001→B007→B015→E002→E005→E011→E023 | 7 | 7 |
| B001→B006→B018→B021→B023→E011→E012 | 7 | 6 |
| B001→B007→B015→E002→E005→E011→E012 | 7 | 6 |
| B001→B006→B018→B021→B023→E012 | 6 | 6 |
| B001→B006→B018→B021→B023→E016 | 6 | 6 |
| B001→B006→B018→E007→E011→E023 | 6 | 6 |
| B001→B007→B011→B017→B018→E025 | 6 | 6 |
| B001→B007→B012→E007→E011→E023 | 6 | 6 |
| B001→B006→B018→E007→E011→E012 | 6 | 5 |
| B001→B007→B012→E007→E011→E012 | 6 | 5 |
| B001→B006→B016→B020→E020 | 5 | 5 |
| B001→B006→B018→E007→E009 | 5 | 5 |
| B001→B007→B011→E011→E023 | 5 | 5 |
| B001→B007→B012→E007→E009 | 5 | 5 |
| B001→B007→B015→E002→E008 | 5 | 5 |
| B001→B007→B016→B020→E020 | 5 | 5 |
| B001→B007→B010→B019→B022→E010 | 6 | 4 |
| B001→B007→B010→B019→B022→E012 | 6 | 4 |
| B001→B007→B010→B019→B022→E013 | 6 | 4 |
| B001→B007→B011→B019→B022→E010 | 6 | 4 |
| B001→B007→B011→B019→B022→E012 | 6 | 4 |
| B001→B007→B011→B019→B022→E013 | 6 | 4 |
| B001→B007→B010→B019→E015 | 5 | 4 |
| B001→B007→B010→E006→E010 | 5 | 4 |
| B001→B007→B010→E006→E013 | 5 | 4 |
| B001→B007→B011→B019→E015 | 5 | 4 |
| B001→B007→B011→E011→E012 | 5 | 4 |
| B001→B013→E004→E003→E008 | 5 | 4 |

(conclusão)

| Editado | Compr. | Com Desconto de Pré-requisitos Parciais |
|--------------------------|---------------|--|
| B001→B013→E004→E003→E016 | 5 | 4 |
| B001→B013→E004→E003→E020 | 5 | 4 |
| B004→B013→E004→E003→E008 | 5 | 4 |
| B004→B013→E004→E003→E016 | 5 | 4 |
| B004→B013→E004→E003→E020 | 5 | 4 |
| B001→B006→B018→E025 | 4 | 4 |
| B001→B007→B012→E025 | 4 | 4 |
| B001→B013→E003→E008 | 4 | 4 |
| B001→B013→E003→E016 | 4 | 4 |
| B001→B013→E003→E020 | 4 | 4 |
| B003→B009→E014→E019 | 4 | 4 |
| B004→B013→E003→E008 | 4 | 4 |
| B004→B013→E003→E016 | 4 | 4 |
| B004→B013→E003→E020 | 4 | 4 |
| B003→B009→E008 | 3 | 3 |
| B003→B009→E009 | 3 | 3 |

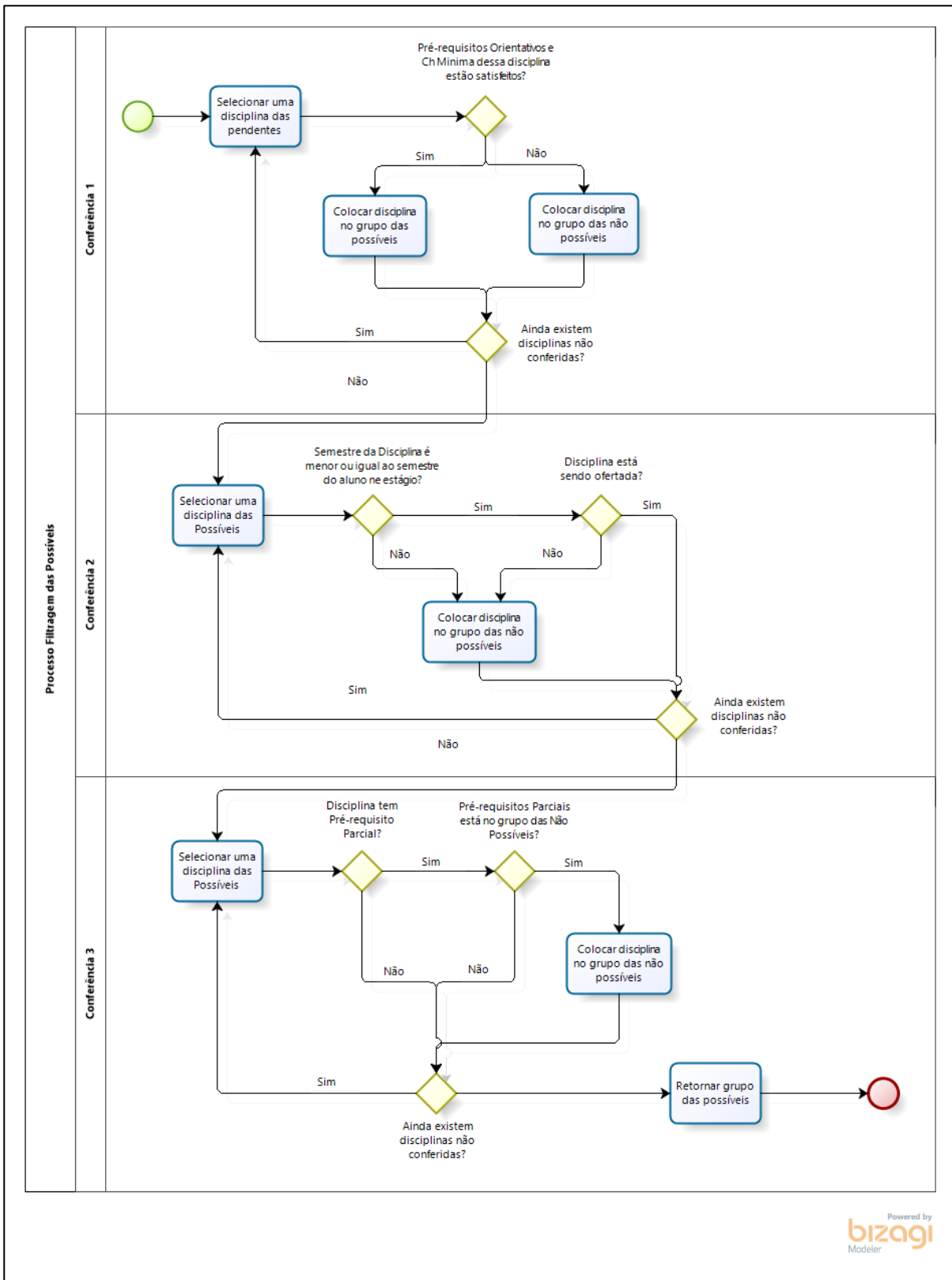
Fonte: O Autor (2020)

APÊNDICE C - PROCESSO DE RECURSÃO DA ENTIDADE ESTÁGIO

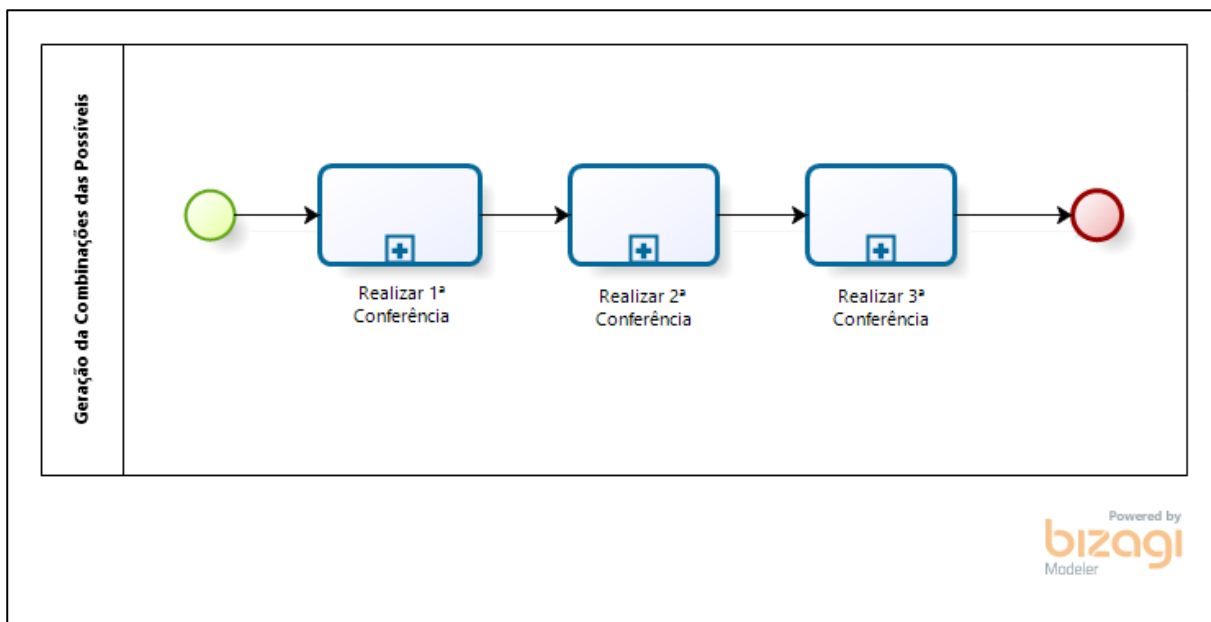


Fonte: O Autor (2020)

APÊNDICE D - PROCESSO DE FILTRAGEM DAS POSSÍVEIS

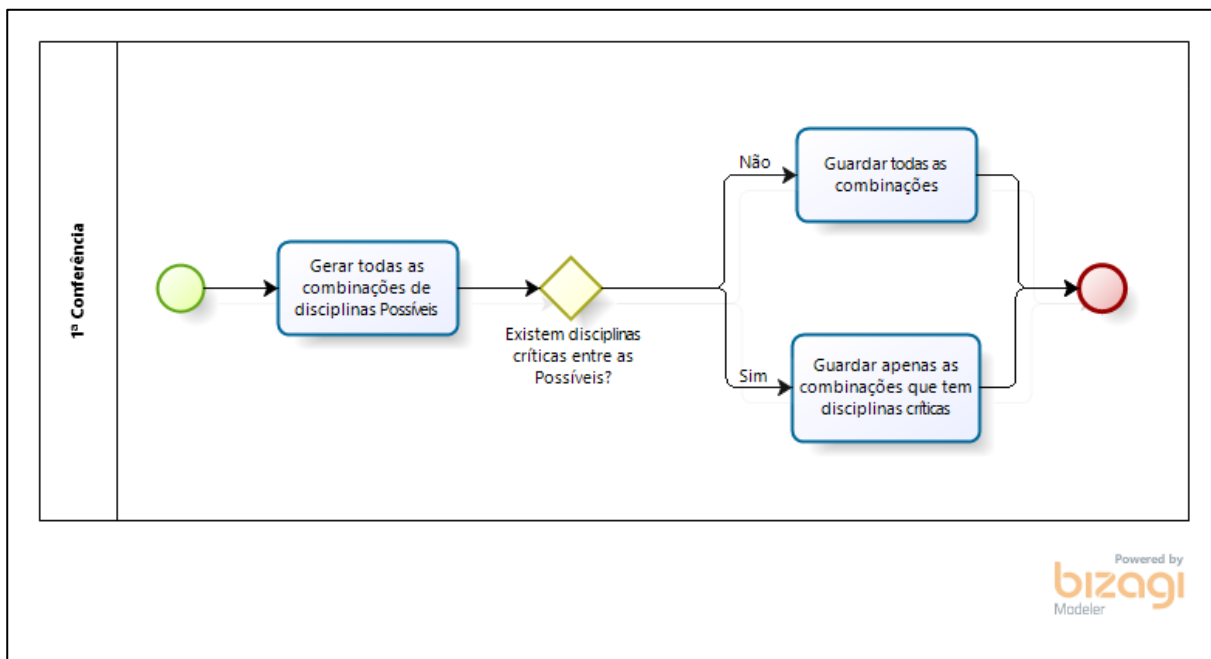


APÊNDICE E - PROCESSO DE GERAÇÃO DAS DECISÕES



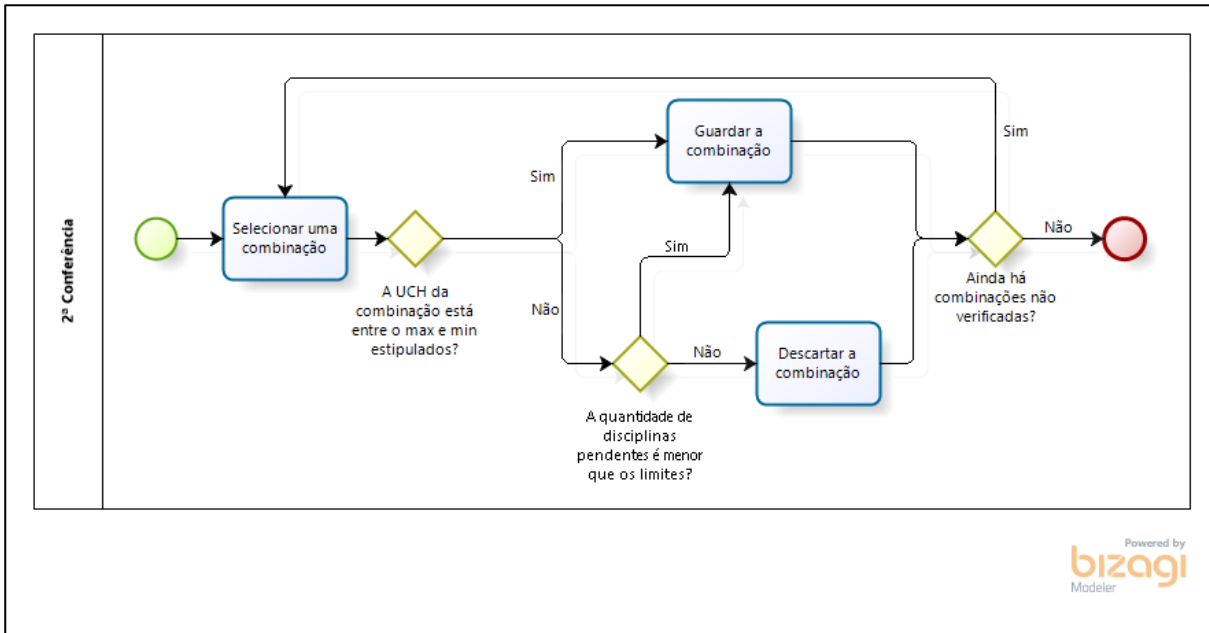
Fonte: O Autor (2020)

Subprocesso 1ª Conferência:



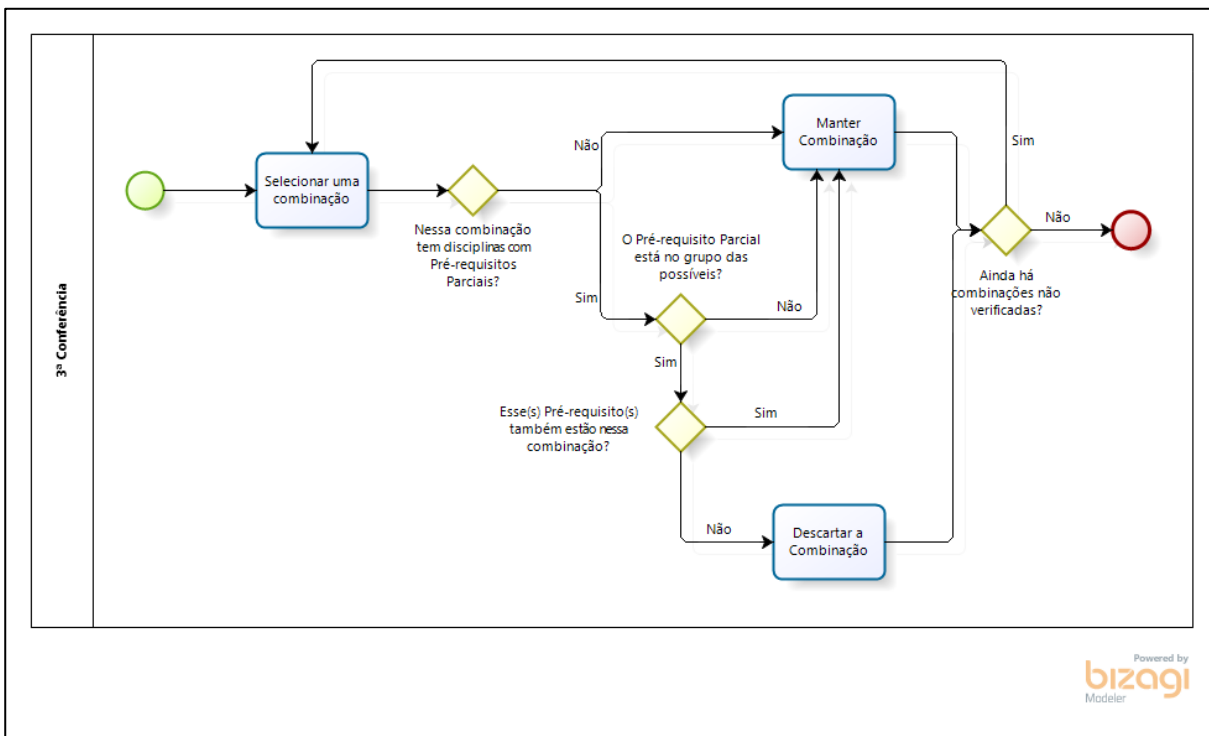
Fonte: O Autor (2020)

Subprocesso - 2ª Conferência:



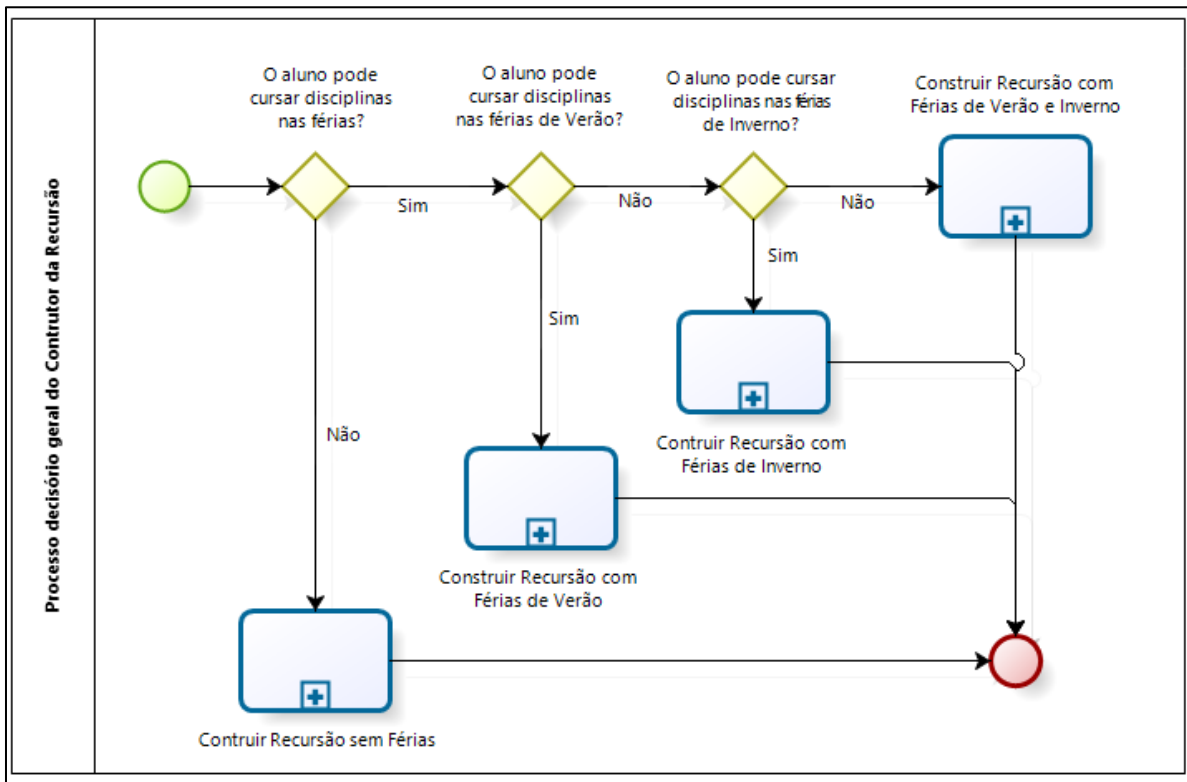
Fonte: O Autor (2020)

Subprocesso - 3ª Conferência:



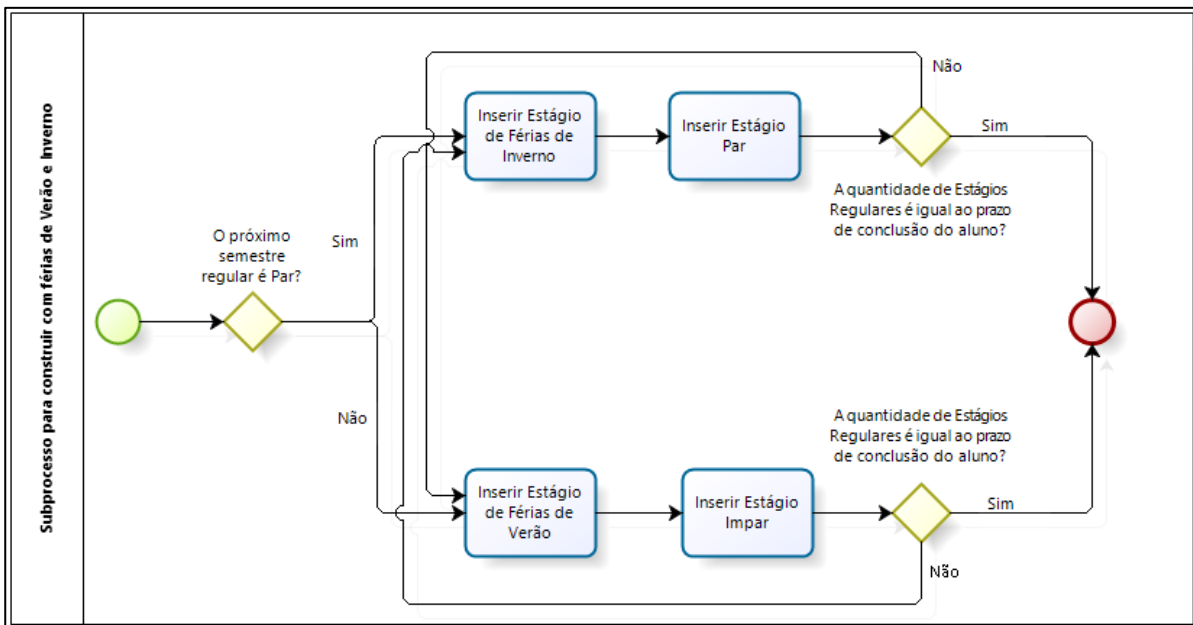
Fonte: O Autor (2020)

APÊNDICE F - PROCESSO DECISÓRIO DO CONSTRUTOR DE RECURSÃO



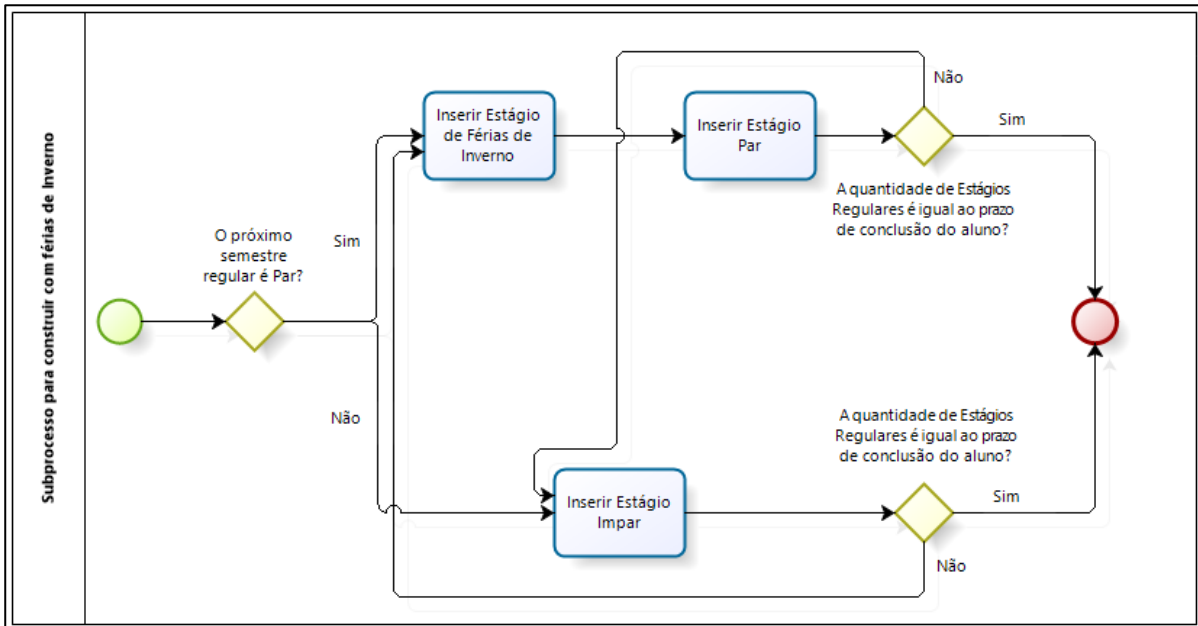
Fonte: O Autor (2020)

Subprocesso para construir a recursão com férias de verão e de inverno:



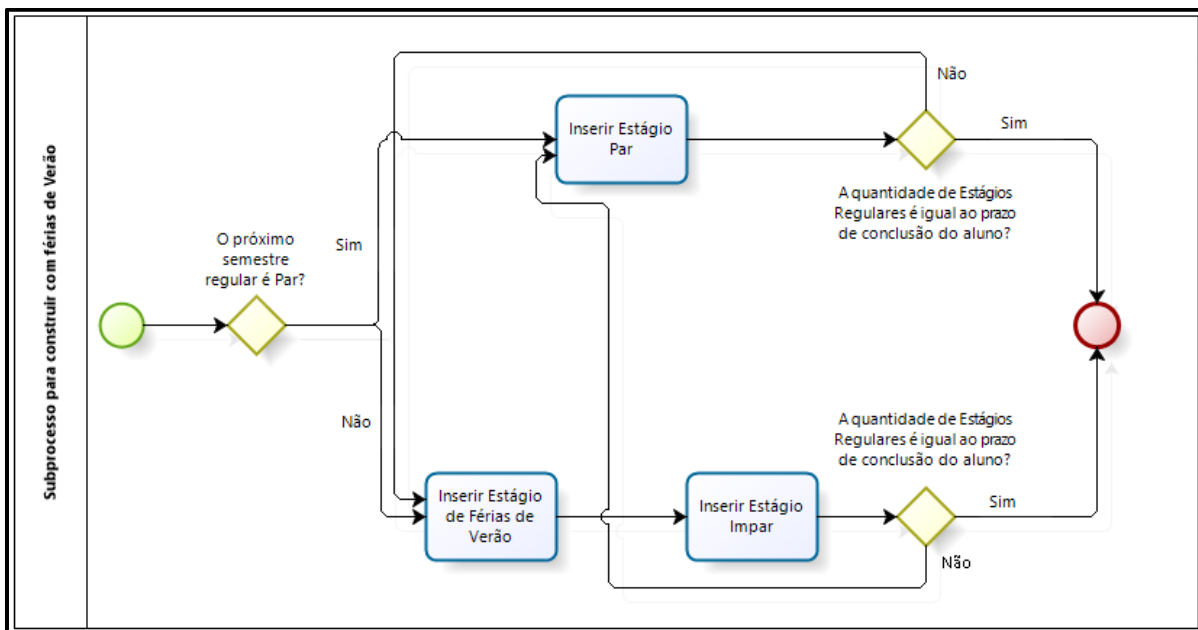
Fonte: O Autor (2020)

Subprocesso para construir a recursão com férias de inverno:



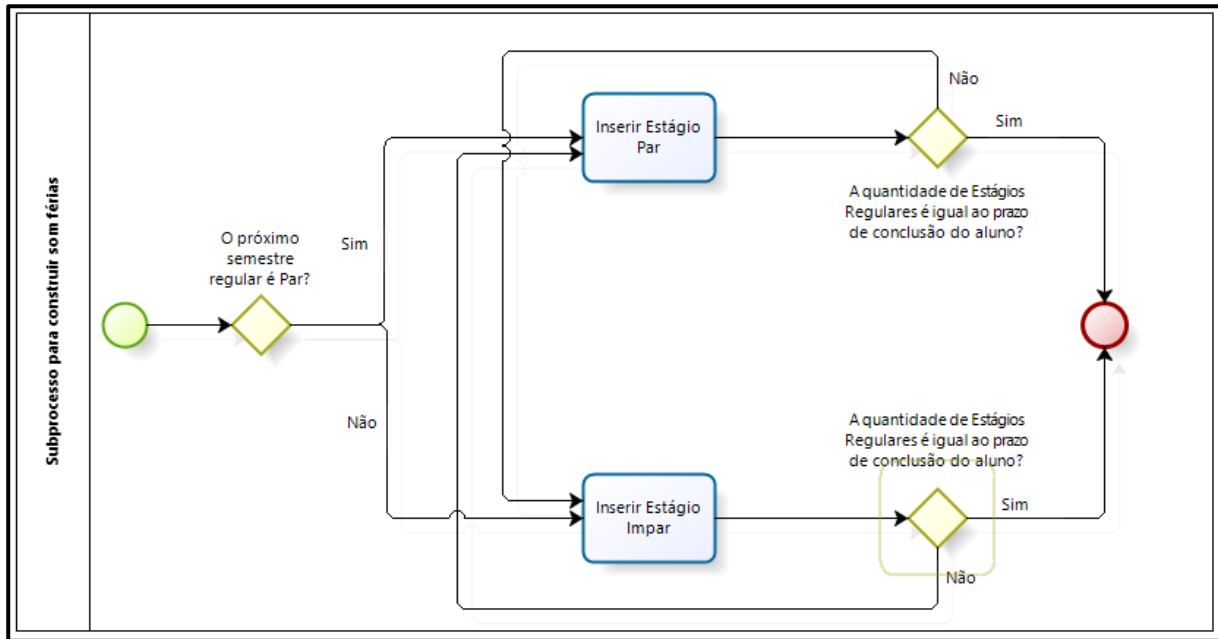
Fonte: O Autor (2020)

Subprocesso para construir a recursão com férias de verão:



Fonte: O Autor (2020)

Subprocesso para construir a recursão sem férias:



Fonte: O Autor (2020)

APÊNDICE G - RESUMO DO CENÁRIO BASE

Informações dos Atores

| Aluno | |
|----------------------------------|--------------|
| Semestre Atual | 0 |
| Prazo de Conclusão | 10 |
| Disponibilidade nas Férias | Indisponível |
| Máximo de Disciplinas / Semestre | 6 |
| Mínimo de Disciplinas / Semestre | 1 |

| Coordenador | | |
|--|---------|---------|
| Disciplinas Programadas Apenas nos Semestres | Pares | Nenhuma |
| | Ímpares | Nenhuma |
| Disciplinas Programadas nas Férias de | Verão | Nenhuma |
| | Inverno | Nenhuma |
| Máximo de Disciplinas / Semestre | 12 | |
| Mínimo de Disciplinas / Semestre | 1 | |

| Instituição | |
|----------------------------------|----------|
| Máximo de Disciplinas / Semestre | 12 |
| Mínimo de Disciplinas / Semestre | 1 |
| Próximo Semestre Regular | Primeiro |

Histórico do Aluno

| Semestre | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Códigos | B001 | G001 | B010 | G002 | G004 | B022 | E008 | E013 | E018 | B024 |
| | B002 | B006 | B011 | G003 | B019 | B023 | E009 | E014 | E019 | B025 |
| | B003 | B007 | B012 | B016 | B020 | E005 | E010 | E015 | E020 | E023 |
| | B004 | B008 | B013 | B017 | B021 | E006 | E011 | E016 | E021 | E024 |
| | B005 | B009 | B014 | B018 | E003 | E007 | E012 | E017 | E022 | E025 |
| | E001 | | B015 | E002 | E004 | | | | | E026 |

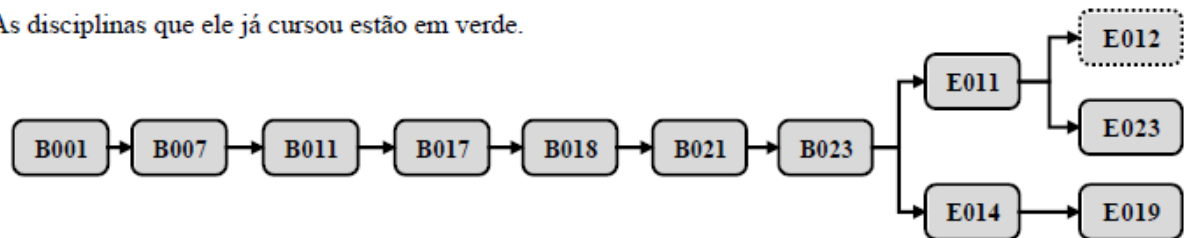
Legenda

| |
|-----------|
| Cursadas |
| Pendentes |

| | Cursada | Pendente | UCH Pendente / Prazo |
|------|---------|----------|----------------------|
| UCH | 0 | 45 | 4,5 |
| %UCH | 0% | 100% | |

Status do Caminho Crítico

As disciplinas que ele já cursou estão em verde.



APÊNDICE H - RESOLUÇÃO TABULAR RESUMIDA DO CENÁRIO BASE

Estágio 1 - Ímpar - Sem 1

| Estados | Retorno Ótimo | Decisões Ótimas | Pendentes no Próximo Estágio |
|--|----------------------|--------------------------------------|--|
| [B001, B002, B003, B004, B005, B006, B007, B008, B009, B010, B011, B012, B013, B014, B015, B016, B017, B018, B019, B020, B021, B022, B023, B024, B025, E001, E002, E003, E004, E005, E006, E007, E008, E009, E010, E011, E012, E013, E014, E015, E016, E017, E018, E019, E020, E021, E022, E023, E024, E025, E026, G001, G002, G003, G004] | 35184372088886 | [E001, B002, B001, B003, B005, B004] | [B009, E026, E006, B012, E003, E023, B008, G004, B013, B020, B023, E013, E011, E025, E008, E014, E015, E005, E007, B019, B017, B025, B007, B011, B024, E019, E010, B006, G001, E012, E002, B016, B021, E016, B018, E021, B010, E022, B022, E017, G003, E018, E020, E004, G002, E024, E009, B015, B014] |

Estágio 2 - Par - Sem 2

| Estados | Retorno Ótimo | Decisões Ótimas | Pendentes no Próximo Estágio |
|--|----------------------|--------------------------------|--|
| [B006, B007, B008, B009, B010, B011, B012, B013, B014, B015, B016, B017, B018, B019, B020, B021, B022, B023, B024, B025, E002, E003, E004, E005, E006, E007, E008, E009, E010, E011, E012, E013, E014, E015, E016, E017, E018, E019, E020, E021, E022, E023, E024, E025, E026, G001, G002, G003, G004] | 36283883716738 | [B009, B008, B007, B006, G001] | [E026, E006, B012, E003, E023, G004, B013, B020, B023, E013, E011, E025, E008, E014, E015, E005, E007, B019, B017, B025, B011, B024, E019, E010, E012, E002, B016, B021, E016, B018, E021, B010, E022, B022, E017, G003, E018, E020, E004, G002, E024, E009, B015, B014] |

Estágio 3 - Ímpar - Sem 3

| Estados | Retorno Ótimo | Decisões Ótimas | Pendentes no Próximo Estágio |
|--|----------------------|--------------------------------------|--|
| [B010, B011, B012, B013, B014, B015, B016, B017, B018, B019, B020, B021, B022, B023, B024, B025, E002, E003, E004, E005, E006, E007, E008, E009, E010, E011, E012, E013, E014, E015, E016, E017, E018, E019, E020, E021, E022, E023, E024, E025, E026, G002, G003, G004] | 36318243455188 | [B012, B011, B010, B013, B015, B014] | E026, E006, E003, E023, G004, B020, B023, E013, E011, E025, E008, E014, E015, E005, E007, B019, B017, B025, B024, E019, E010, E012, E002, B016, B021, E016, B018, E021, E022, B022, E017, G003, E018, E020, E004, G002, E024, E009 |

Estágio 4 - Par - Sem 4

| Estados | Retorno Ótimo | Decisões Ótimas | Pendentes no Próximo Estágio |
|--|----------------------|--------------------------------|--|
| [B016, B017, B018, B019, B020, B021, B022, B023, B024, B025, E002, E003, E004, E005, E006, E007, E008, E009, E010, E011, E012, E013, E014, E015, E016, E017, E018, E019, E020, E021, E022, E023, E024, E025, E026, G002, G003, G004] | 36319317197040 | [E002, B016, G003, B017, G002] | [E026, E006, E003, E023, G004, B020, B023, E013, E011, E025, E008, E014, E015, E005, E007, B019, B025, B024, E019, E010, E012, B021, E016, B018, E021, E022, B022, E017, E018, E020, E004, E024, E009] |

Estágio 5 - Ímpar - Sem 5

| Estados | Retorno Ótimo | Decisões Ótimas | Pendentes no Próximo Estágio |
|--|----------------------|--------------------------------------|--|
| [B018, B019, B020, B021, B022, B023, B024, B025, E003, E004, E005, E006, E007, E008, E009, E010, E011, E012, E013, E014, E015, E016, E017, E018, E019, E020, E021, E022, E023, E024, E025, E026, G004] | 1162219224039690 | [B019, E003, B018, G004, B020, E004] | [E026, E006, E023, B023, E013, E011, E025, E008, E014, E015, E005, E007, B025, B024, E019, E010, E012, B021, E016, E021, E022, B022, E017, E018, E020, E024, E009] |

Estágio 6 - Par - Sem 6

| Estados | Retorno Ótimo | Decisões Ótimas | Pendentes no Próximo Estágio |
|--|----------------------|--------------------------------|--|
| [B021, B022, B023, B024, B025, E005, E006, E007, E008, E009, E010, E011, E012, E013, E014, E015, E016, E017, E018, E019, E020, E021, E022, E023, E024, E025, E026] | 1163318735667490 | [E005, E007, E006, B022, B021] | [E026, E023, B023, E013, E011, E025, E008, E014, E015, B025, B024, E019, E010, E012, E016, E021, E022, E017, E018, E020, E024, E009] |

Estágio 7 - Ímpar - Sem 7

| Estados | Retorno Ótimo | Decisões Ótimas | Pendentes no Próximo Estágio |
|--|----------------------|--------------------------|--|
| [B023, B024, B025, E008, E009, E010, E011, E012, E013, E014, E015, E016, E017, E018, E019, E020, E021, E022, E023, E024, E025, E026] | 1163319809409320 | [E009, E008, E010, B023] | [E026, E023, E013, E011, E025, E014, E015, B025, B024, E019, E012, E016, E021, E022, E017, E018, E020, E024] |

Estágio 8 - Par - Sem 8

| Estados | Retorno Ótimo | Decisões Ótimas | Pendentes no Próximo Estágio |
|--|----------------------|--|--|
| [B024, B025, E011, E012, E013, E014, E015, E016, E017, E018, E019, E020, E021, E022, E023, E024, E025, E026] | 1163319810459950 | [E017, E016, E013, E011, E014, E012, E015] | [E026, E023, E025, B025, B024, E019, E021, E022, E018, E020, E024] |

Estágio 9 - Ímpar - Sem 9

| Estados | Retorno Ótimo | Decisões Ótimas | Pendentes no Próximo Estágio |
|--|----------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| [B024, B025, E018, E019, E020, E021, E022, E023, E024, E025, E026] | 1163319810459990 | [E022, E018, E021, E019, E020] | [E026, E023, E025, B025, B024, E024] |

Estágio 10 - Par - Sem 10

| Estados | Retorno Ótimo | Decisões Ótimas | Pendentes no Próximo Estágio |
|--------------------------------------|----------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| [B024, B025, E023, E024, E025, E026] | 1163319810460040 | [E026, E023, B025, B024, E025, E024] | Terminal |

APÊNDICE I - CAMINHOS DA REDE DE PRÉ-REQUISITOS CORRIGIDOS

(continua)

| Editado | Compr. | Com Desconto de Pré-requisitos Parciais* |
|---|--------|--|
| B001→B007→B011→B018→B021→B023→E011→E023 | 8 | 8 |
| B001→B007→B011→B018→B021→B023→E014→E019 | 8 | 8 |
| B001→B007→B011→B018→B021→B023→E011→E012 | 8 | 7 |
| B001→B006→B018→B021→B023→E011→E023 | 7 | 7 |
| B001→B006→B018→B021→B023→E014→E019 | 7 | 7 |
| B001→B007→B011→B018→B021→B023→E016 | 7 | 7 |
| B001→B007→B011→B018→E007→E011→E023 | 7 | 7 |
| B001→B007→B015→E002→E005→E011→E023 | 7 | 7 |
| B001→B006→B018→B021→B023→E011→E012 | 7 | 6 |
| B001→B007→B011→B018→E007→E011→E012 | 7 | 6 |
| B001→B007→B015→E002→E005→E011→E012 | 7 | 6 |
| B001→B006→B018→B021→B023→E016 | 6 | 6 |
| B001→B006→B018→E007→E011→E023 | 6 | 6 |
| B001→B007→B011→B018→E007→E009 | 6 | 6 |
| B001→B007→B012→E007→E011→E023 | 6 | 6 |
| B001→B006→B018→E007→E011→E012 | 6 | 5 |
| B001→B007→B012→E007→E011→E012 | 6 | 5 |
| B001→B006→B016→B020→E020 | 5 | 5 |
| B001→B006→B018→E007→E009 | 5 | 5 |
| B001→B007→B011→B018→E025 | 5 | 5 |
| B001→B007→B011→E011→E023 | 5 | 5 |
| B001→B007→B012→E007→E009 | 5 | 5 |
| B001→B007→B015→E002→E008 | 5 | 5 |
| B001→B007→B016→B020→E020 | 5 | 5 |
| B001→B007→B010→B019→B022→E010 | 6 | 4 |
| B001→B007→B010→B019→B022→E012 | 6 | 4 |
| B001→B007→B010→B019→B022→E013 | 6 | 4 |
| B001→B007→B011→B019→B022→E010 | 6 | 4 |
| B001→B007→B011→B019→B022→E012 | 6 | 4 |
| B001→B007→B011→B019→B022→E013 | 6 | 4 |
| B001→B007→B010→B019→E015 | 5 | 4 |
| B001→B007→B010→E006→E010 | 5 | 4 |
| B001→B007→B010→E006→E013 | 5 | 4 |
| B001→B007→B011→B019→E015 | 5 | 4 |
| B001→B007→B011→E011→E012 | 5 | 4 |
| B001→B013→E004→E003→E008 | 5 | 4 |
| B001→B013→E004→E003→E016 | 5 | 4 |
| B001→B013→E004→E003→E020 | 5 | 4 |
| B004→B013→E004→E003→E008 | 5 | 4 |
| B004→B013→E004→E003→E016 | 5 | 4 |
| B004→B013→E004→E003→E020 | 5 | 4 |

(continua)

| Editado | Compr. | Com Desconto de Pré-requisitos Parciais* |
|---------------------|---------------|---|
| B001→B006→B018→E025 | 4 | 4 |
| B001→B007→B011→B017 | 4 | 4 |
| B001→B007→B012→E025 | 4 | 4 |
| B003→B009→E014→E019 | 4 | 4 |
| B003→B009→E008 | 3 | 3 |
| B003→B009→E009 | 3 | 3 |
| E021→E026 | 2 | 2 |

APÊNDICE J - RESOLUÇÃO TABULAR RESUMIDA DO CENÁRIO BASE APÓS A CORREÇÃO

Estágio 1 - Ímpar - Sem 1

| Estados | Retorno Ótimo | Decisões Ótimas | Pendentes no Próximo Estágio |
|--|----------------------|--------------------------------------|--|
| [B001, B002, B003, B004, B005, B006, B007, B008, B009, B010, B011, B012, B013, B014, B015, B016, B017, B018, B019, B020, B021, B022, B023, B024, B025, E001, E002, E003, E004, E005, E006, E007, E008, E009, E010, E011, E012, E013, E014, E015, E016, E017, E018, E019, E020, E021, E022, E023, E024, E025, E026, G001, G002, G003, G004] | 1099511627830 | [B001, B002, B003, B004, B005, E001] | [B006, B007, B008, B009, B010, B011, B012, B013, B014, B015, B016, B017, B018, B019, B020, B021, B022, B023, B024, B025, E002, E003, E004, E005, E006, E007, E008, E009, E010, E011, E012, E013, E014, E015, E016, E017, E018, E019, E020, E021, E022, E023, E024, E025, E026, G001, G002, G003, G004] |

Estágio 2 - Par - Sem 2

| Estados | Retorno Ótimo | Decisões Ótimas | Pendentes no Próximo Estágio |
|--|----------------------|--------------------------------|--|
| [B006, B007, B008, B009, B010, B011, B012, B013, B014, B015, B016, B017, B018, B019, B020, B021, B022, B023, B024, B025, E002, E003, E004, E005, E006, E007, E008, E009, E010, E011, E012, E013, E014, E015, E016, E017, E018, E019, E020, E021, E022, E023, E024, E025, E026, G001, G002, G003, G004] | 1133871366274 | [B006, B007, B008, B009, G001] | [B010, B011, B012, B013, B014, B015, B016, B017, B018, B019, B020, B021, B022, B023, B024, B025, E002, E003, E004, E005, E006, E007, E008, E009, E010, E011, E012, E013, E014, E015, E016, E017, E018, E019, E020, E021, E022, E023, E024, E025, E026, G002, G003, G004] |

Estágio 3 - Ímpar - Sem 3

| Estados | Retorno Ótimo | Decisões Ótimas | Pendentes no Próximo Estágio |
|--|----------------------|--------------------------------------|--|
| [B010, B011, B012, B013, B014, B015, B016, B017, B018, B019, B020, B021, B022, B023, B024, B025, E002, E003, E004, E005, E006, E007, E008, E009, E010, E011, E012, E013, E014, E015, E016, E017, E018, E019, E020, E021, E022, E023, E024, E025, E026, G002, G003, G004] | 1134945108180 | [B010, B011, B012, B013, B014, B015] | [B016, B017, B018, B019, B020, B021, B022, B023, B024, B025, E002, E003, E004, E005, E006, E007, E008, E009, E010, E011, E012, E013, E014, E015, E016, E017, E018, E019, E020, E021, E022, E023, E024, E025, E026, G002, G003, G004] |

Estágio 4 - Par - Sem 4

| Estados | Retorno Ótimo | Decisões Ótimas | Pendentes no Próximo Estágio |
|--|----------------------|--------------------------------------|--|
| [B016, B017, B018, B019, B020, B021, B022, B023, B024, B025, E002, E003, E004, E005, E006, E007, E008, E009, E010, E011, E012, E013, E014, E015, E016, E017, E018, E019, E020, E021, E022, E023, E024, E025, E026, G002, G003, G004] | 1134978662642 | [B016, B017, B018, E002, G002, G003] | [B019, B020, B021, B022, B023, B024, B025, E003, E004, E005, E006, E007, E008, E009, E010, E011, E012, E013, E014, E015, E016, E017, E018, E019, E020, E021, E022, E023, E024, E025, E026, G004] |

Estágio 5 - Ímpar - Sem 5

| Estados | Retorno Ótimo | Decisões Ótimas | Pendentes no Próximo Estágio |
|--|----------------------|--------------------------------------|--|
| [B019, B020, B021, B022, B023, B024, B025, E003, E004, E005, E006, E007, E008, E009, E010, E011, E012, E013, E014, E015, E016, E017, E018, E019, E020, E021, E022, E023, E024, E025, E026, G004] | 1134979711244 | [B019, B020, B021, E003, E004, G004] | [B022, B023, B024, B025, E005, E006, E007, E008, E009, E010, E011, E012, E013, E014, E015, E016, E017, E018, E019, E020, E021, E022, E023, E024, E025, E026] |

Estágio 6 - Par - Sem 6

| Estados | Retorno Ótimo | Decisões Ótimas | Pendentes no Próximo Estágio |
|--|----------------------|--------------------------------|--|
| [B022, B023, B024, B025, E005, E006, E007, E008, E009, E010, E011, E012, E013, E014, E015, E016, E017, E018, E019, E020, E021, E022, E023, E024, E025, E026] | 1134979744036 | [B022, B023, E005, E006, E007] | [B024, B025, E008, E009, E010, E011, E012, E013, E014, E015, E016, E017, E018, E019, E020, E021, E022, E023, E024, E025, E026] |

Estágio 7 - Ímpar - Sem 7

| Estados | Retorno Ótimo | Decisões Ótimas | Pendentes no Próximo Estágio |
|--|----------------------|--------------------------------|--|
| [B024, B025, E008, E009, E010, E011, E012, E013, E014, E015, E016, E017, E018, E019, E020, E021, E022, E023, E024, E025, E026] | 1134979745098 | [E008, E009, E010, E011, E012] | [B024, B025, E013, E014, E015, E016, E017, E018, E019, E020, E021, E022, E023, E024, E025, E026] |

Estágio 8 - Par - Sem 8

| Estados | Retorno Ótimo | Decisões Ótimas | Pendentes no Próximo Estágio |
|--|----------------------|--------------------------------|--|
| [B024, B025, E013, E014, E015, E016, E017, E018, E019, E020, E021, E022, E023, E024, E025, E026] | 1134979746130 | [E013, E014, E015, E016, E017] | [B024, B025, E018, E019, E020, E021, E022, E023, E024, E025, E026] |

Estágio 9 - Ímpar - Sem 9

| Estados | Retorno Ótimo | Decisões Ótimas | Pendentes no Próximo Estágio |
|--|----------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| [B024, B025, E018, E019, E020, E021, E022, E023, E024, E025, E026] | 1134979746172 | [E018, E019, E020, E021, E022] | [B024, B025, E023, E024, E025, E026] |

Estágio 10 - Par - Sem 10

| Estados | Retorno Ótimo | Decisões Ótimas | Pendentes no Próximo Estágio |
|--------------------------------------|----------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| [B024, B025, E023, E024, E025, E026] | 1134979746214 | [B024, B025, E023, E024, E025, E026] | [Terminal] |

APÊNDICE K - RESUMO DO CENÁRIO 1

Informações dos Atores

| Aluno | |
|----------------------------------|--------------|
| Semestre Atual | 5 |
| Prazo de Conclusão | 5 |
| Disponibilidade nas Férias | Indisponível |
| Máximo de Disciplinas / Semestre | 5 |
| Mínimo de Disciplinas / Semestre | 3 |

| Coordenador | | |
|--|---------|---------|
| Disciplinas Programadas Apenas nos Semestres | Pares | Nenhuma |
| | Ímpares | Nenhuma |
| Disciplinas Programadas nas Férias de | Verão | Nenhuma |
| | Inverno | Nenhuma |
| Máximo de Disciplinas / Semestre | 6 | |
| Mínimo de Disciplinas / Semestre | 3 | |

| Instituição | |
|----------------------------------|---------|
| Máximo de Disciplinas / Semestre | 12 |
| Mínimo de Disciplinas / Semestre | 1 |
| Próximo Semestre Regular | Segundo |

Histórico do Aluno

| Semestre | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Códigos | B001 | G001 | B010 | G002 | G004 | B022 | E008 | E013 | E018 | B024 |
| | B002 | B006 | B011 | G003 | B019 | B023 | E009 | E014 | E019 | B025 |
| | B003 | B007 | B012 | B016 | B020 | E005 | E010 | E015 | E020 | E023 |
| | B004 | B008 | B013 | B017 | B021 | E006 | E011 | E016 | E021 | E024 |
| | B005 | B009 | B014 | B018 | E003 | E007 | E012 | E017 | E022 | E025 |
| | E001 | | B015 | E002 | E004 | | | | | |

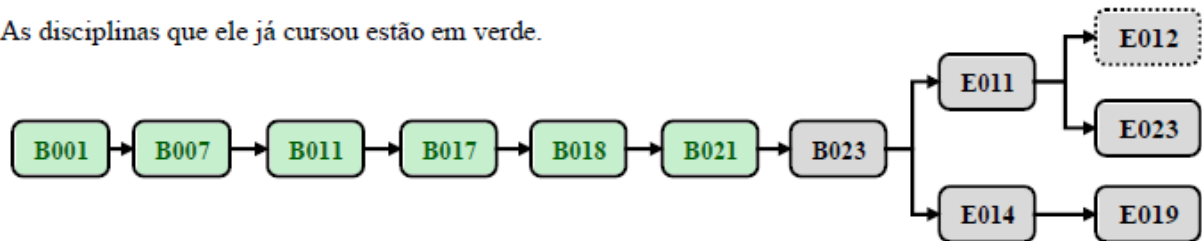
Legenda

| |
|-----------|
| Cursadas |
| Pendentes |

| | | | |
|------|---------|----------|----------------------|
| | Cursada | Pendente | UCH Pendente / Prazo |
| UCH | 21,5 | 23,5 | 4,7 |
| %UCH | 48% | 52% | |

Status do Caminho Crítico

As disciplinas que ele já cursou estão em verde.



APÊNDICE L - RESOLUÇÃO TABULAR RESUMIDA DO CENÁRIO 1

Estágio 1 - Par - Sem 6

| Estados | Retorno Ótimo | Decisões Ótimas | Pendentes no Próximo Estágio |
|--|----------------------|--|--|
| [B022, B023, B024, B025, E005, E006, E007, E008, E009, E010, E011, E012, E013, E014, E015, E016, E017, E018, E019, E020, E021, E022, E023, E024, E025, E026, G002, G003] | 32804 | [E005, E007, E006, G003, G002, B023] [E005, E007, B022, G003, G002, B023] | [E022, E017, E016, E008, E009, E012, E011, E015, B025, E010, E020, B022, E018, E024, E021, E023, E025, E026, E019, B024, E013, E014] [E022, E017, E016, E008, E009, E012, E011, E015, E006, B025, E010, E020, E018, E024, E021, E023, E025, E026, E019, B024, E013, E014] |

Estágio 2 - Ímpar - Sem 7

| Estados | Retorno Ótimo | Decisões Ótimas | Pendentes no Próximo Estágio |
|--|----------------------|--------------------------------|--|
| [B022, B024, B025, E008, E009, E010, E011, E012, E013, E014, E015, E016, E017, E018, E019, E020, E021, E022, E023, E024, E025, E026] | 33848 | [E009, E008, B022, E011] | [E022, E017, E016, E012, E015, B025, E010, E020, E018, E024, E021, E023, E025, E026, E019, B024, E013, E014] |
| [B024, B025, E006, E008, E009, E010, E011, E012, E013, E014, E015, E016, E017, E018, E019, E020, E021, E022, E023, E024, E025, E026] | 33880 | [E009, E012, E011, E006, E008] | [E022, E017, E016, E015, B025, E010, E020, E018, E024, E021, E023, E025, E026, E019, B024, E013, E014] |

Estágio 3 - Par - Sem 8

| Estados | Retorno Ótimo | Decisões Ótimas | Pendentes no Próximo Estágio |
|--|----------------------|--|--|
| [B024, B025, E010, E012, E013, E014, E015, E016, E017, E018, E019, E020, E021, E022, E023, E024, E025, E026] | 35906 | [E017, E012, E015, E014, E013, E010] [E017, E012, E015, E014, E016, E010] [E017, E012, E014, E013, E016, E010] | [E022, E016, B025, E020, E018, E024, E021, E023, E025, E026, E019, B024] [E022, B025, E020, E018, E024, E021, E023, E025, E026, E019, B024, E013] [E022, E015, B025, E020, E018, E024, E021, E023, E025, E026, E019, B024] |
| [B024, B025, E010, E013, E014, E015, E016, E017, E018, E019, E020, E021, E022, E023, E024, E025, E026] | 34914 | [E017, E015, E014, E013, E010] [E017, E015, E014, E016, E010] [E017, E014, E013, E016, E010] [E015, E014, E013, E016, E010] | [E022, E016, B025, E020, E018, E024, E021, E023, E025, E026, E019, B024] [E022, B025, E020, E018, E024, E021, E023, E025, E026, E019, B024, E013] [E022, E015, B025, E020, E018, E024, E021, E023, E025, E026, E019, B024] [E022, E017, B025, E020, E018, E024, E021, E023, E025, E026, E019, B024] |

Estágio 4 - Ímpar - Sem 9

(continua)

| Estados | Retorno Ótimo | Decisões Ótimas | Pendentes no Próximo Estágio |
|--|----------------------|--|--|
| [B024, B025, E016, E018, E019, E020, E021, E022, E023, E024, E025, E026] | 35950 | [E022, E021, E019, E016, E018] [E020, E021, E019, E016, E018] | [B025, E020, E024, E023, E025, E026, B024] [E022, B025, E024, E023, E025, E026, B024] |
| [B024, B025, E013, E018, E019, E020, E021, E022, E023, E024, E025, E026] | 35950 | [E022, E021, E019, E013, E018] [E020, E021, E019, E013, E018] | [B025, E020, E024, E023, E025, E026, B024] [E022, B025, E024, E023, E025, E026, B024] |
| [B024, B025, E015, E018, E019, E020, E021, E022, E023, E024, E025, E026] | 35950 | [E022, E021, E019, E015, E018] [E020, E021, E019, E015, E018] | [B025, E020, E024, E023, E025, E026, B024] [E022, B025, E024, E023, E025, E026, B024] |

(conclusão)

| | | | |
|--|-------|--|--|
| [B024, B025, E017, E018, E019, E020, E021, E022, E023, E024, E025, E026] | 34958 | [E022, E017, E020, E021, E019] [E022, E017, E021, E019, E018] [E017, E020, E021, E019, E018] | [B025, E018, E024, E023, E025, E026, B024] [B025, E020, E024, E023, E025, E026, B024] [E022, B025, E024, E023, E025, E026, B024] |
|--|-------|--|--|

Estágio 5 - Par - Sem 10

| Estados | Retorno Ótimo | Decisões Ótimas | Pendentes no Próximo Estágio |
|--|----------------------|--|--|
| [B024, B025, E020, E023, E024, E025, E026] | 35994 | [E024, E025, E023, E020, E026, B024] [E024, E025, E023, E020, E026, B025] [E024, E025, E023, E020, B024, B025] [E024, E023, E020, E026, B024, B025] [E025, E023, E020, E026, B024, B025] | [B025] [B024] [E026] [E025] [E024] |
| [B024, B025, E022, E023, E024, E025, E026] | 35992 | [E022, E024, E025, E023, E026] [E022, E024, E025, E023, B025] [E022, E024, E023, E026, B024] [E022, E024, E023, E026, B025] [E022, E024, E023, B024, B025] [E022, E025, E023, E026, B024] [E022, E025, E023, E026, B025] [E022, E025, E023, B024, B025] [E022, E023, E026, B024, B025] [E024, E025, E023, E026, B024, B025] | [B025, B024] [E026, B024] [B025, E025] [E025, B024] [E025, E026] [B025, E024] [E024, B024] [E024, E026] [E024, E025] [E022] |
| [B024, B025, E018, E023, E024, E025, E026] | 35004 | [E024, E025, E023, E026, B024, E018, B025] | Terminal |

APÊNDICE M - RESUMO DO CENÁRIO 2

Informações dos Atores

| Aluno | |
|----------------------------------|--------------|
| Semestre Atual | 8 |
| Prazo de Conclusão | 4 |
| Disponibilidade nas Férias | Indisponível |
| Máximo de Disciplinas / Semestre | 4 |
| Mínimo de Disciplinas / Semestre | 1 |

| Coordenador | | |
|--|---------|---------|
| Disciplinas Programadas Apenas nos Semestres | Pares | Nenhuma |
| | Ímpares | Nenhuma |
| Disciplinas Programadas nas Férias de | Verão | Nenhuma |
| | Inverno | Nenhuma |
| Máximo de Disciplinas / Semestre | 6 | |
| Mínimo de Disciplinas / Semestre | 3 | |

| Instituição | |
|----------------------------------|----------|
| Máximo de Disciplinas / Semestre | 12 |
| Mínimo de Disciplinas / Semestre | 1 |
| Próximo Semestre Regular | Primeiro |

Histórico do Aluno

| Semestre | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Códigos | B001 | G001 | B010 | G002 | G004 | B022 | E008 | E013 | E018 | B024 |
| | B002 | B006 | B011 | G003 | B019 | B023 | E009 | E014 | E019 | B025 |
| | B003 | B007 | B012 | B016 | B020 | E005 | E010 | E015 | E020 | E023 |
| | B004 | B008 | B013 | B017 | B021 | E006 | E011 | E016 | E021 | E024 |
| | B005 | B009 | B014 | B018 | E003 | E007 | E012 | E017 | E022 | E025 |
| | E001 | | B015 | E002 | E004 | | | | | |

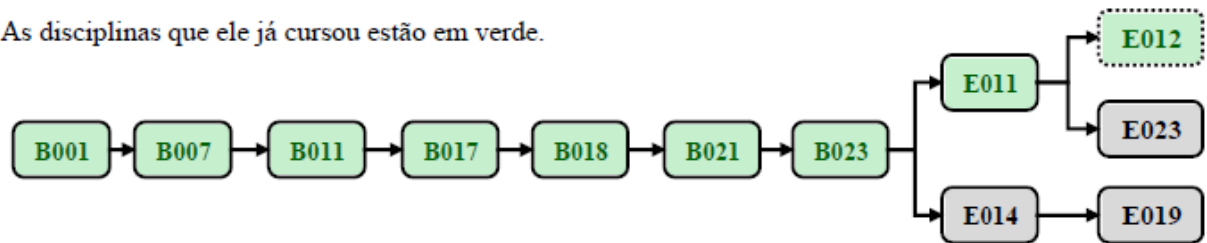
Legenda

| |
|-----------|
| Cursadas |
| Pendentes |

| | | | |
|------|---------|----------|----------------------|
| | Cursada | Pendente | UCH Pendente / Prazo |
| UCH | 25 | 20 | 5 |
| %UCH | 56% | 44% | |

Status do Caminho Crítico

As disciplinas que ele já cursou estão em verde.



APÊNDICE N - RESOLUÇÃO TABULAR RESUMIDA DO CENÁRIO 2

Estágio 1 - Ímpar - Sem 9

| Estados | Retorno Ótimo | Decisões Ótimas | Pendentes no Próximo Estágio |
|--|----------------------|--------------------------------|--|
| [B005, B014, B024, B025, E001, E008, E009, E010, E013, E014, E015, E016, E017, E018, E019, E020, E021, E022, E023, E024, E025, E026, G001, G003] | 1049984 | [B005, B014, E001, E014, G001] | [B024, B025, E008, E009, E010, E013, E015, E016, E017, E018, E019, E020, E021, E022, E023, E024, E025, E026, G003] |

Estágio 2 - Par - Sem 10

| Estados | Retorno Ótimo | Decisões Ótimas | Pendentes no Próximo Estágio |
|--|----------------------|--|--|
| [B024, B025, E008, E009, E010, E013, E015, E016, E017, E018, E019, E020, E021, E022, E023, E024, E025, E026, G003] | 1051200 | [E008, E010, E019, E023, G003] [E009, E010, E019, E023, G003] [E008, E009, E019, E023, G003] | [B024, B025, E009, E013, E015, E016, E017, E018, E020, E021, E022, E024, E025, E026] [B024, B025, E008, E013, E015, E016, E017, E018, E020, E021, E022, E024, E025, E026] [B024, B025, E010, E013, E015, E016, E017, E018, E020, E021, E022, E024, E025, E026] |

Estágio 3 - Ímpar - Sem 11

(continua)

| Estados | Retorno Ótimo | Decisões Ótimas | Pendentes no Próximo Estágio |
|--|----------------------|--|--|
| [B024, B025, E009, E013, E015, E016, E017, E018, E020, E021, E022, E024, E025, E026] | 1051344 | [E009, E013, E016, E017, E021] [E009, E015, E016, E017, E021] [E009, E013, E015, E017, E021] | [B024, B025, E015, E018, E020, E022, E024, E025, E026] [B024, B025, E013, E018, E020, E022, E024, E025, E026] [B024, B025, E016, E018, E020, E022, E024, E025, E026] |

(conclusão)

| | | | |
|--|---------|--|--|
| [B024, B025, E008, E013, E015, E016, E017, E018, E020, E021, E022, E024, E025, E026] | 1051344 | [E008, E013, E016, E017, E021] [E008, E015, E016, E017, E021] [E008, E013, E015, E017, E021] | [B024, B025, E015, E018, E020, E022, E024, E025, E026] [B024, B025, E013, E018, E020, E022, E024, E025, E026] [B024, B025, E016, E018, E020, E022, E024, E025, E026] |
| [B024, B025, E010, E013, E015, E016, E017, E018, E020, E021, E022, E024, E025, E026] | 1051344 | [E010, E013, E016, E017, E021] [E010, E015, E016, E017, E021] [E010, E013, E015, E017, E021] | [B024, B025, E015, E018, E020, E022, E024, E025, E026] [B024, B025, E013, E018, E020, E022, E024, E025, E026] [B024, B025, E016, E018, E020, E022, E024, E025, E026] |

Estágio 4 - Par - Sem 12

(continua)

| Estados | Retorno Ótimo | Decisões Ótimas | Pendentes no Próximo Estágio |
|--|----------------------|--|--|
| [B024, B025, E015, E018, E020, E022, E024, E025, E026] | 1051424 | [B025, E015, E018, E020, E025] [E015, E018, E020, E025, E026] [B025, E015, E018, E020, E024] [B024, B025, E015, E018, E020] [B025, E015, E018, E020, E026] [E015, E018, E020, E024, E026] [B024, E015, E018, E020, E026] | [B024, E022, E024, E026] [B024, B025, E022, E024] [B024, E022, E025, E026] [E022, E024, E025, E026] [B024, E022, E024, E025] [B024, B025, E022, E025] [B025, E022, E024, E025] |
| [B024, B025, E013, E018, E020, E022, E024, E025, E026] | 1051424 | [B025, E013, E018, E020, E025] [E013, E018, E020, E025, E026] [B025, E013, E018, E020, E024] [B024, B025, E013, E018, E020] [B025, E013, E018, E020, E026] [E013, E018, E020, E024, E026] [B024, E013, E018, E020, E026] | [B024, E022, E024, E026] [B024, B025, E022, E024] [B024, E022, E025, E026] [E022, E024, E025, E026] [B024, E022, E024, E025] [B024, B025, E022, E025] [B025, E022, E024, E025] |

(conclusão)

| | | | |
|--|---------|--|--|
| [B024, B025, E016, E018, E020, E022, E024, E025, E026] | 1051424 | [B025, E016, E018, E020, E025] [E016, E018, E020, E025, E026] [B025, E016, E018, E020, E024] [B024, B025, E016, E018, E020] [B025, E016, E018, E020, E026] [E016, E018, E020, E024, E026] [B024, E016, E018, E020, E026] | [B024, E022, E024, E026] [B024, B025, E022, E024] [B024, E022, E025, E026] [E022, E024, E025, E026] [B024, E022, E024, E025] [B024, B025, E022, E025] [B025, E022, E024, E025] |
|--|---------|--|--|

APÊNDICE O - RESOLUÇÃO TABULAR RESUMIDA DO CENÁRIO 2 COM AJUSTE DO PRAZO

Estágio 1 - Ímpar - Sem 9

| Estados | Retorno Ótimo | Decisões Ótimas | Pendentes no Próximo Estágio |
|--|----------------------|--------------------------------|--|
| [B005, B014, B024, B025, E001, E008, E009, E010, E013, E014, E015, E016, E017, E018, E019, E020, E021, E022, E023, E024, E025, E026, G001, G003] | 1049984 | [B005, B014, E001, E014, G001] | [B024, B025, E008, E009, E010, E013, E015, E016, E017, E018, E019, E020, E021, E022, E023, E024, E025, E026, G003] |

Estágio 2 - Par - Sem 10

| Estados | Retorno Ótimo | Decisões Ótimas | Pendentes no Próximo Estágio |
|--|----------------------|--|--|
| [B024, B025, E008, E009, E010, E013, E015, E016, E017, E018, E019, E020, E021, E022, E023, E024, E025, E026, G003] | 1051200 | [E008, E009, E019, E023, G003] [E009, E010, E019, E023, G003] [E008, E010, E019, E023, G003] | [B024, B025, E010, E013, E015, E016, E017, E018, E020, E021, E022, E024, E025, E026] [B024, B025, E008, E013, E015, E016, E017, E018, E020, E021, E022, E024, E025, E026] [B024, B025, E009, E013, E015, E016, E017, E018, E020, E021, E022, E024, E025, E026] |

Estágio 3 - Ímpar - Sem 11

(continua)

| Estados | Retorno Ótimo | Decisões Ótimas | Pendentes no Próximo Estágio |
|--|----------------------|--|--|
| [B024, B025, E010, E013, E015, E016, E017, E018, E020, E021, E022, E024, E025, E026] | 1051344 | [E010, E013, E015, E017, E021] [E010, E013, E016, E017, E021] [E010, E015, E016, E017, E021] | [B024, B025, E016, E018, E020, E022, E024, E025, E026] [B024, B025, E015, E018, E020, E022, E024, E025, E026] [B024, B025, E013, E018, E020, E022, E024, E025, E026] |

(conclusão)

| Estados | Retorno Ótimo | Decisões Ótimas | Pendentes no Próximo Estágio |
|--|----------------------|--|--|
| [B024, B025, E008, E013, E015, E016, E017, E018, E020, E021, E022, E024, E025, E026] | 1051344 | [E008, E013, E015, E017, E021] [E008, E013, E016, E017, E021] [E008, E015, E016, E017, E021] | [B024, B025, E016, E018, E020, E022, E024, E025, E026] [B024, B025, E015, E018, E020, E022, E024, E025, E026] [B024, B025, E013, E018, E020, E022, E024, E025, E026] |
| [B024, B025, E009, E013, E015, E016, E017, E018, E020, E021, E022, E024, E025, E026] | 1051344 | [E009, E013, E015, E017, E021] [E009, E013, E016, E017, E021] [E009, E015, E016, E017, E021] | [B024, B025, E016, E018, E020, E022, E024, E025, E026] [B024, B025, E015, E018, E020, E022, E024, E025, E026] [B024, B025, E013, E018, E020, E022, E024, E025, E026] |

Estágio 4 - Par - Sem 12

(continua)

| Estados | Retorno Ótimo | Decisões Ótimas | Pendentes no Próximo Estágio |
|--|----------------------|--|--|
| [B024, B025, E016, E018, E020, E022, E024, E025, E026] | 1051424 | [E016, E018, E020, E024, E026] [B025, E016, E018, E020, E024] [E016, E018, E020, E025, E026] [B025, E016, E018, E020, E025] [B025, E016, E018, E020, E026] [B024, E016, E018, E020, E026] [B024, B025, E016, E018, E020] | [B024, B025, E022, E025] [B024, E022, E025, E026] [B024, B025, E022, E024] [B024, E022, E024, E026] [B024, E022, E024, E025] [B025, E022, E024, E025] [E022, E024, E025, E026] |
| [B024, B025, E015, E018, E020, E022, E024, E025, E026] | 1051424 | [E015, E018, E020, E024, E026] [B025, E015, E018, E020, E024] [E015, E018, E020, E025, E026] [B025, E015, E018, E020, E025] [B025, E015, E018, E020, E026] [B024, E015, E018, E020, E026] [B024, B025, E015, E018, E020] | [B024, B025, E022, E025] [B024, E022, E025, E026] [B024, B025, E022, E024] [B024, E022, E024, E026] [B024, E022, E024, E025] [B025, E022, E024, E025] [E022, E024, E025, E026] |

(conclusão)

| Estados | Retorno Ótimo | Decisões Ótimas | Pendentes no Próximo Estágio |
|--|----------------------|--|--|
| [B024, B025, E013, E018, E020, E022, E024, E025, E026] | 1051424 | [E013, E018, E020, E024, E026] [B025, E013, E018, E020, E024] [E013, E018, E020, E025, E026] [B025, E013, E018, E020, E025] [B025, E013, E018, E020, E026] [B024, E013, E018, E020, E026] [B024, B025, E013, E018, E020] | [B024, B025, E022, E025] [B024, E022, E025, E026] [B024, B025, E022, E024] [B024, E022, E024, E026] [B024, E022, E024, E025] [B025, E022, E024, E025] [E022, E024, E025, E026] |

Estágio 5 - Ímpar - Sem 13

(continua)

| Estados | Retorno Ótimo | Decisões Ótimas | Pendentes no Próximo Estágio |
|--------------------------|----------------------|--|-------------------------------------|
| [B024, B025, E022, E025] | 1051488 | [B024, E022, E025] [B025, E022, E025] [B024, B025, E022] | [B025] [B024] [E025] |
| [B024, E022, E025, E026] | 1051488 | [B024, E022, E025] [E022, E025, E026] [B024, E022, E026] | [E026] [B024] [E025] |
| [B024, B025, E022, E024] | 1051488 | [B024, E022, E024] [B024, B025, E022] [B025, E022, E024] | [B025] [E024] [B024] |
| [B024, E022, E024, E026] | 1051488 | [B024, E022, E026] [B024, E022, E024] [E022, E024, E026] | [E024] [E026] [B024] |

(conclusão)

| Estados | Retorno Ótimo | Decisões Ótimas | Pendentes no Próximo Estágio |
|--------------------------|----------------------|--|-------------------------------------|
| [B024, E022, E024, E025] | 1051488 | [B024, E022, E025] [E022, E024, E025] [B024, E022, E024] | [E024] [B024] [E025] |
| [B025, E022, E024, E025] | 1051488 | [E022, E024, E025] [B025, E022, E025] [B025, E022, E024] | [B025] [E024] [E025] |
| [E022, E024, E025, E026] | 1051488 | [E022, E025, E026] [E022, E024, E025] [E022, E024, E026] | [E024] [E026] [E025] |

Estágio 6 - Par - Sem 14

| Estados | Retorno Ótimo | Decisões Ótimas | Pendentes no Próximo Estágio |
|----------------|----------------------|------------------------|-------------------------------------|
| [B025] | 1051520 | [B025] | Terminal |
| [B024] | 1051520 | [B024] | Terminal |
| [E025] | 1051520 | [E025] | Terminal |
| [E026] | 1051520 | [E026] | Terminal |
| [E024] | 1051520 | [E024] | Terminal |

APÊNDICE P - TABELA DE SEQUENCIAMENTOS PARA O CENÁRIO 2 COM AJUSTE DO PRAZO

(continua)

| Estágios | | | | | | |
|------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------|----------|
| Sequenciamentos | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | B005, B014, E001, E014, G001 | E009, E010, E019, E023, G003 | E008, E015, E016, E017, E021 | B025, E013, E018, E020, E024 | E022, E025, E026 | B024 |
| 2 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E010, E019, E023, G003 | E009, E015, E016, E017, E021 | B025, E013, E018, E020, E024 | E022, E025, E026 | B024 |
| 3 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E009, E019, E023, G003 | E010, E015, E016, E017, E021 | B025, E013, E018, E020, E024 | E022, E025, E026 | B024 |
| 4 | B005, B014, E001, E014, G001 | E009, E010, E019, E023, G003 | E008, E013, E015, E017, E021 | B025, E016, E018, E020, E024 | E022, E025, E026 | B024 |
| 5 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E010, E019, E023, G003 | E009, E013, E015, E017, E021 | B025, E016, E018, E020, E024 | E022, E025, E026 | B024 |
| 6 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E009, E019, E023, G003 | E010, E013, E015, E017, E021 | B025, E016, E018, E020, E024 | E022, E025, E026 | B024 |
| 7 | B005, B014, E001, E014, G001 | E009, E010, E019, E023, G003 | E008, E013, E016, E017, E021 | B025, E015, E018, E020, E024 | E022, E025, E026 | B024 |
| 8 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E010, E019, E023, G003 | E009, E013, E016, E017, E021 | B025, E015, E018, E020, E024 | E022, E025, E026 | B024 |
| 9 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E009, E019, E023, G003 | E010, E013, E016, E017, E021 | B025, E015, E018, E020, E024 | E022, E025, E026 | B024 |
| 10 | B005, B014, E001, E014, G001 | E009, E010, E019, E023, G003 | E008, E015, E016, E017, E021 | E013, E018, E020, E024, E026 | B025, E022, E025 | B024 |
| 11 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E010, E019, E023, G003 | E009, E015, E016, E017, E021 | E013, E018, E020, E024, E026 | B025, E022, E025 | B024 |
| 12 | B005, B014, E001, E014, G001 | E009, E010, E019, E023, G003 | E008, E015, E016, E017, E021 | B025, E013, E018, E020, E024 | E022, E025, E026 | B024 |

(continuação)

| Estágios | | | | | | |
|------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------|----------|
| Sequenciamentos | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 13 | B005, B014, E001, E014, G001 | E009, E010, E019, E023, G003 | E008, E013, E015, E017, E021 | E016, E018, E020, E024, E026 | B025, E022, E025 | B024 |
| 14 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E010, E019, E023, G003 | E009, E013, E015, E017, E021 | E016, E018, E020, E024, E026 | B025, E022, E025 | B024 |
| 15 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E009, E019, E023, G003 | E010, E013, E015, E017, E021 | E016, E018, E020, E024, E026 | B025, E022, E025 | B024 |
| 16 | B005, B014, E001, E014, G001 | E009, E010, E019, E023, G003 | E008, E013, E016, E017, E021 | E015, E018, E020, E024, E026 | B025, E022, E025 | B024 |
| 17 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E010, E019, E023, G003 | E009, E013, E016, E017, E021 | E015, E018, E020, E024, E026 | B025, E022, E025 | B024 |
| 18 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E009, E019, E023, G003 | E010, E013, E016, E017, E021 | E015, E018, E020, E024, E026 | B025, E022, E025 | B024 |
| 19 | B005, B014, E001, E014, G001 | E009, E010, E019, E023, G003 | E008, E015, E016, E017, E021 | B025, E013, E018, E020, E026 | E022, E024, E025 | B024 |
| 20 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E010, E019, E023, G003 | E009, E015, E016, E017, E021 | B025, E013, E018, E020, E026 | E022, E024, E025 | B024 |
| 21 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E009, E019, E023, G003 | E010, E015, E016, E017, E021 | B025, E013, E018, E020, E026 | E022, E024, E025 | B024 |
| 22 | B005, B014, E001, E014, G001 | E009, E010, E019, E023, G003 | E008, E013, E015, E017, E021 | B025, E016, E018, E020, E026 | E022, E024, E025 | B024 |
| 23 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E010, E019, E023, G003 | E009, E013, E015, E017, E021 | B025, E016, E018, E020, E026 | E022, E024, E025 | B024 |
| 24 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E009, E019, E023, G003 | E010, E013, E015, E017, E021 | B025, E016, E018, E020, E026 | E022, E024, E025 | B024 |

(continuação)

| Estágios | | | | | | |
|------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------|----------|
| Sequenciamentos | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 25 | B005, B014, E001, E014, G001 | E009, E010, E019, E023, G003 | E008, E013, E016, E017, E021 | B025, E015, E018, E020, E026 | E022, E024, E025 | B024 |
| 26 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E010, E019, E023, G003 | E009, E013, E016, E017, E021 | B025, E015, E018, E020, E026 | E022, E024, E025 | B024 |
| 27 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E009, E019, E023, G003 | E010, E013, E016, E017, E021 | B025, E015, E018, E020, E026 | E022, E024, E025 | B024 |
| 28 | B005, B014, E001, E014, G001 | E009, E010, E019, E023, G003 | E008, E015, E016, E017, E021 | B025, E013, E018, E020, E025 | E022, E024, E026 | B024 |
| 29 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E010, E019, E023, G003 | E009, E015, E016, E017, E021 | B025, E013, E018, E020, E025 | E022, E024, E026 | B024 |
| 30 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E009, E019, E023, G003 | E010, E015, E016, E017, E021 | B025, E013, E018, E020, E025 | E022, E024, E026 | B024 |
| 31 | B005, B014, E001, E014, G001 | E009, E010, E019, E023, G003 | E008, E013, E015, E017, E021 | B025, E016, E018, E020, E025 | E022, E024, E026 | B024 |
| 32 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E010, E019, E023, G003 | E009, E013, E015, E017, E021 | B025, E016, E018, E020, E025 | E022, E024, E026 | B024 |
| 33 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E009, E019, E023, G003 | E010, E013, E015, E017, E021 | B025, E016, E018, E020, E025 | E022, E024, E026 | B024 |
| 34 | B005, B014, E001, E014, G001 | E009, E010, E019, E023, G003 | E008, E013, E016, E017, E021 | B025, E015, E018, E020, E025 | E022, E024, E026 | B024 |
| 35 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E010, E019, E023, G003 | E009, E013, E016, E017, E021 | B025, E015, E018, E020, E025 | E022, E024, E026 | B024 |
| 36 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E009, E019, E023, G003 | E010, E013, E016, E017, E021 | B025, E015, E018, E020, E025 | E022, E024, E026 | B024 |
| 37 | B005, B014, E001, E014, G001 | E009, E010, E019, E023, G003 | E008, E015, E016, E017, E021 | E013, E018, E020, E025, E026 | B025, E022, E024 | B024 |

(continuação)

| Estágios | | | | | | |
|------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------|----------|
| Sequenciamentos | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 38 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E010, E019, E023, G003 | E009, E015, E016, E017, E021 | E013, E018, E020, E025, E026 | B025, E022, E024 | B024 |
| 39 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E009, E019, E023, G003 | E010, E015, E016, E017, E021 | E013, E018, E020, E025, E026 | B025, E022, E024 | B024 |
| 40 | B005, B014, E001, E014, G001 | E009, E010, E019, E023, G003 | E008, E013, E015, E017, E021 | E016, E018, E020, E025, E026 | B025, E022, E024 | B024 |
| 41 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E010, E019, E023, G003 | E009, E013, E015, E017, E021 | E016, E018, E020, E025, E026 | B025, E022, E024 | B024 |
| 42 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E009, E019, E023, G003 | E010, E013, E015, E017, E021 | E016, E018, E020, E025, E026 | B025, E022, E024 | B024 |
| 43 | B005, B014, E001, E014, G001 | E009, E010, E019, E023, G003 | E008, E013, E016, E017, E021 | E015, E018, E020, E025, E026 | B025, E022, E024 | B024 |
| 44 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E010, E019, E023, G003 | E009, E013, E016, E017, E021 | E015, E018, E020, E025, E026 | B025, E022, E024 | B024 |
| 45 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E009, E019, E023, G003 | E010, E013, E016, E017, E021 | E015, E018, E020, E025, E026 | B025, E022, E024 | B024 |
| 46 | B005, B014, E001, E014, G001 | E009, E010, E019, E023, G003 | E008, E015, E016, E017, E021 | B025, E013, E018, E020, E024 | B024, E022, E026 | E025 |
| 47 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E010, E019, E023, G003 | E009, E015, E016, E017, E021 | B025, E013, E018, E020, E024 | B024, E022, E026 | E025 |
| 48 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E009, E019, E023, G003 | E010, E015, E016, E017, E021 | B025, E013, E018, E020, E024 | B024, E022, E026 | E025 |
| 49 | B005, B014, E001, E014, G001 | E009, E010, E019, E023, G003 | E008, E013, E015, E017, E021 | B025, E016, E018, E020, E024 | B024, E022, E026 | E025 |
| 50 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E010, E019, E023, G003 | E009, E013, E015, E017, E021 | B025, E016, E018, E020, E024 | B024, E022, E026 | E025 |

(continuação)

| Estágios | | | | | | |
|------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------|----------|
| Sequenciamentos | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 51 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E009, E019, E023, G003 | E010, E013, E015, E017, E021 | B025, E016, E018, E020, E024 | B024, E022, E026 | E025 |
| 52 | B005, B014, E001, E014, G001 | E009, E010, E019, E023, G003 | E008, E013, E016, E017, E021 | B025, E015, E018, E020, E024 | B024, E022, E026 | E025 |
| 53 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E010, E019, E023, G003 | E009, E013, E016, E017, E021 | B025, E015, E018, E020, E024 | B024, E022, E026 | E025 |
| 54 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E009, E019, E023, G003 | E010, E013, E016, E017, E021 | B025, E015, E018, E020, E024 | B024, E022, E026 | E025 |
| 55 | B005, B014, E001, E014, G001 | E009, E010, E019, E023, G003 | E008, E015, E016, E017, E021 | E013, E018, E020, E024, E026 | B024, B025, E022 | E025 |
| 56 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E010, E019, E023, G003 | E009, E015, E016, E017, E021 | E013, E018, E020, E024, E026 | B024, B025, E022 | E025 |
| 57 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E009, E019, E023, G003 | E010, E015, E016, E017, E021 | E013, E018, E020, E024, E026 | B024, B025, E022 | E025 |
| 58 | B005, B014, E001, E014, G001 | E009, E010, E019, E023, G003 | E008, E013, E015, E017, E021 | E016, E018, E020, E024, E026 | B024, B025, E022 | E025 |
| 59 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E010, E019, E023, G003 | E009, E013, E015, E017, E021 | E016, E018, E020, E024, E026 | B024, B025, E022 | E025 |
| 60 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E009, E019, E023, G003 | E010, E013, E015, E017, E021 | E016, E018, E020, E024, E026 | B024, B025, E022 | E025 |
| 61 | B005, B014, E001, E014, G001 | E009, E010, E019, E023, G003 | E008, E013, E016, E017, E021 | E015, E018, E020, E024, E026 | B024, B025, E022 | E025 |
| 62 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E010, E019, E023, G003 | E009, E013, E016, E017, E021 | E015, E018, E020, E024, E026 | B024, B025, E022 | E025 |
| 63 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E009, E019, E023, G003 | E010, E013, E016, E017, E021 | E015, E018, E020, E024, E026 | B024, B025, E022 | E025 |

(continuação)

| Estágios | | | | | | |
|------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------|----------|
| Sequenciamentos | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 64 | B005, B014, E001, E014, G001 | E009, E010, E019, E023, G003 | E008, E015, E016, E017, E021 | B025, E013, E018, E020, E026 | B024, E022, E024 | E025 |
| 65 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E010, E019, E023, G003 | E009, E015, E016, E017, E021 | B025, E013, E018, E020, E026 | B024, E022, E024 | E025 |
| 66 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E009, E019, E023, G003 | E010, E015, E016, E017, E021 | B025, E013, E018, E020, E026 | B024, E022, E024 | E025 |
| 67 | B005, B014, E001, E014, G001 | E009, E010, E019, E023, G003 | E008, E013, E015, E017, E021 | B025, E016, E018, E020, E026 | B024, E022, E024 | E025 |
| 68 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E010, E019, E023, G003 | E009, E013, E015, E017, E021 | B025, E016, E018, E020, E026 | B024, E022, E024 | E025 |
| 69 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E009, E019, E023, G003 | E010, E013, E015, E017, E021 | B025, E016, E018, E020, E026 | B024, E022, E024 | E025 |
| 70 | B005, B014, E001, E014, G001 | E009, E010, E019, E023, G003 | E008, E013, E016, E017, E021 | B025, E015, E018, E020, E026 | B024, E022, E024 | E025 |
| 71 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E010, E019, E023, G003 | E009, E013, E016, E017, E021 | B025, E015, E018, E020, E026 | B024, E022, E024 | E025 |
| 72 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E009, E019, E023, G003 | E010, E013, E016, E017, E021 | B025, E015, E018, E020, E026 | B024, E022, E024 | E025 |
| 73 | B005, B014, E001, E014, G001 | E009, E010, E019, E023, G003 | E008, E015, E016, E017, E021 | B024, B025, E013, E018, E020 | E022, E024, E026 | E025 |
| 74 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E010, E019, E023, G003 | E009, E015, E016, E017, E021 | B024, B025, E013, E018, E020 | E022, E024, E026 | E025 |
| 75 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E009, E019, E023, G003 | E010, E015, E016, E017, E021 | B024, B025, E013, E018, E020 | E022, E024, E026 | E025 |
| 76 | B005, B014, E001, E014, G001 | E009, E010, E019, E023, G003 | E008, E013, E015, E017, E021 | B024, B025, E016, E018, E020 | E022, E024, E026 | E025 |

(continuação)

| Estágios | | | | | | |
|------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------|----------|
| Sequenciamentos | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 77 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E010, E019, E023, G003 | E009, E013, E015, E017, E021 | B024, B025, E016, E018, E020 | E022, E024, E026 | E025 |
| 78 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E009, E019, E023, G003 | E010, E013, E015, E017, E021 | B024, B025, E016, E018, E020 | E022, E024, E026 | E025 |
| 79 | B005, B014, E001, E014, G001 | E009, E010, E019, E023, G003 | E008, E013, E016, E017, E021 | B024, B025, E015, E018, E020 | E022, E024, E026 | E025 |
| 80 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E010, E019, E023, G003 | E009, E013, E016, E017, E021 | B024, B025, E015, E018, E020 | E022, E024, E026 | E025 |
| 81 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E009, E019, E023, G003 | E010, E013, E016, E017, E021 | B024, B025, E015, E018, E020 | E022, E024, E026 | E025 |
| 82 | B005, B014, E001, E014, G001 | E009, E010, E019, E023, G003 | E008, E015, E016, E017, E021 | B024, E013, E018, E020, E026 | B025, E022, E024 | E025 |
| 83 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E010, E019, E023, G003 | E009, E015, E016, E017, E021 | B024, E013, E018, E020, E026 | B025, E022, E024 | E025 |
| 84 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E009, E019, E023, G003 | E010, E015, E016, E017, E021 | B024, E013, E018, E020, E026 | B025, E022, E024 | E025 |
| 85 | B005, B014, E001, E014, G001 | E009, E010, E019, E023, G003 | E008, E013, E015, E017, E021 | B024, E016, E018, E020, E026 | B025, E022, E024 | E025 |
| 86 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E010, E019, E023, G003 | E009, E013, E015, E017, E021 | B024, E016, E018, E020, E026 | B025, E022, E024 | E025 |
| 87 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E009, E019, E023, G003 | E010, E013, E015, E017, E021 | B024, E016, E018, E020, E026 | B025, E022, E024 | E025 |
| 88 | B005, B014, E001, E014, G001 | E009, E010, E019, E023, G003 | E008, E013, E016, E017, E021 | B024, E015, E018, E020, E026 | B025, E022, E024 | E025 |
| 89 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E010, E019, E023, G003 | E009, E013, E016, E017, E021 | B024, E015, E018, E020, E026 | B025, E022, E024 | E025 |

(continuação)

| Estágios | | | | | | |
|------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------|----------|
| Sequenciamentos | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 90 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E009, E019, E023, G003 | E010, E013, E016, E017, E021 | B024, E015, E018, E020, E026 | B025, E022, E024 | E025 |
| 91 | B005, B014, E001, E014, G001 | E009, E010, E019, E023, G003 | E008, E015, E016, E017, E021 | B025, E013, E018, E020, E024 | B024, E022, E025 | E026 |
| 92 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E010, E019, E023, G003 | E009, E015, E016, E017, E021 | B025, E013, E018, E020, E024 | B024, E022, E025 | E026 |
| 93 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E009, E019, E023, G003 | E010, E015, E016, E017, E021 | B025, E013, E018, E020, E024 | B024, E022, E025 | E026 |
| 94 | B005, B014, E001, E014, G001 | E009, E010, E019, E023, G003 | E008, E013, E015, E017, E021 | B025, E016, E018, E020, E024 | B024, E022, E025 | E026 |
| 95 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E010, E019, E023, G003 | E009, E013, E015, E017, E021 | B025, E016, E018, E020, E024 | B024, E022, E025 | E026 |
| 96 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E009, E019, E023, G003 | E010, E013, E015, E017, E021 | B025, E016, E018, E020, E024 | B024, E022, E025 | E026 |
| 97 | B005, B014, E001, E014, G001 | E009, E010, E019, E023, G003 | E008, E013, E016, E017, E021 | B025, E015, E018, E020, E024 | B024, E022, E025 | E026 |
| 98 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E010, E019, E023, G003 | E009, E013, E016, E017, E021 | B025, E015, E018, E020, E024 | B024, E022, E025 | E026 |
| 99 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E009, E019, E023, G003 | E010, E013, E016, E017, E021 | B025, E015, E018, E020, E024 | B024, E022, E025 | E026 |
| 100 | B005, B014, E001, E014, G001 | E009, E010, E019, E023, G003 | E008, E015, E016, E017, E021 | B024, B025, E013, E018, E020 | E022, E024, E025 | E026 |
| 101 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E010, E019, E023, G003 | E009, E015, E016, E017, E021 | B024, B025, E013, E018, E020 | E022, E024, E025 | E026 |
| 102 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E009, E019, E023, G003 | E010, E015, E016, E017, E021 | B024, B025, E013, E018, E020 | E022, E024, E025 | E026 |

(continuação)

| Estágios | | | | | | |
|------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------|----------|
| Sequenciamentos | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 103 | B005, B014, E001, E014, G001 | E009, E010, E019, E023, G003 | E008, E013, E015, E017, E021 | B024, B025, E016, E018, E020 | E022, E024, E025 | E026 |
| 104 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E010, E019, E023, G003 | E009, E013, E015, E017, E021 | B024, B025, E016, E018, E020 | E022, E024, E025 | E026 |
| 105 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E009, E019, E023, G003 | E010, E013, E015, E017, E021 | B024, B025, E016, E018, E020 | E022, E024, E025 | E026 |
| 106 | B005, B014, E001, E014, G001 | E009, E010, E019, E023, G003 | E008, E013, E016, E017, E021 | B024, B025, E015, E018, E020 | E022, E024, E025 | E026 |
| 107 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E010, E019, E023, G003 | E009, E013, E016, E017, E021 | B024, B025, E015, E018, E020 | E022, E024, E025 | E026 |
| 108 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E009, E019, E023, G003 | E010, E013, E016, E017, E021 | B024, B025, E015, E018, E020 | E022, E024, E025 | E026 |
| 109 | B005, B014, E001, E014, G001 | E009, E010, E019, E023, G003 | E008, E015, E016, E017, E021 | B025, E013, E018, E020, E025 | B024, E022, E024 | E026 |
| 110 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E010, E019, E023, G003 | E009, E015, E016, E017, E021 | B025, E013, E018, E020, E025 | B024, E022, E024 | E026 |
| 111 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E009, E019, E023, G003 | E010, E015, E016, E017, E021 | B025, E013, E018, E020, E025 | B024, E022, E024 | E026 |
| 112 | B005, B014, E001, E014, G001 | E009, E010, E019, E023, G003 | E008, E013, E015, E017, E021 | B025, E016, E018, E020, E025 | B024, E022, E024 | E026 |
| 113 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E010, E019, E023, G003 | E009, E013, E015, E017, E021 | B025, E016, E018, E020, E025 | B024, E022, E024 | E026 |
| 114 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E009, E019, E023, G003 | E010, E013, E015, E017, E021 | B025, E016, E018, E020, E025 | B024, E022, E024 | E026 |
| 115 | B005, B014, E001, E014, G001 | E009, E010, E019, E023, G003 | E008, E013, E016, E017, E021 | B025, E015, E018, E020, E025 | B024, E022, E024 | E026 |

(continuação)

| Estágios | | | | | | |
|------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------|----------|
| Sequenciamentos | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 116 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E010, E019, E023, G003 | E009, E013, E016, E017, E021 | B025, E015, E018, E020, E025 | B024, E022, E024 | E026 |
| 117 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E009, E019, E023, G003 | E010, E013, E016, E017, E021 | B025, E015, E018, E020, E025 | B024, E022, E024 | E026 |
| 118 | B005, B014, E001, E014, G001 | E009, E010, E019, E023, G003 | E008, E015, E016, E017, E021 | E013, E018, E020, E024, E026 | B024, E022, E025 | B025 |
| 119 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E010, E019, E023, G003 | E009, E015, E016, E017, E021 | E013, E018, E020, E024, E026 | B024, E022, E025 | B025 |
| 120 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E009, E019, E023, G003 | E010, E015, E016, E017, E021 | E013, E018, E020, E024, E026 | B024, E022, E025 | B025 |
| 121 | B005, B014, E001, E014, G001 | E009, E010, E019, E023, G003 | E008, E013, E015, E017, E021 | E016, E018, E020, E024, E026 | B024, E022, E025 | B025 |
| 122 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E010, E019, E023, G003 | E009, E013, E015, E017, E021 | E016, E018, E020, E024, E026 | B024, E022, E025 | B025 |
| 123 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E009, E019, E023, G003 | E010, E013, E015, E017, E021 | E016, E018, E020, E024, E026 | B024, E022, E025 | B025 |
| 124 | B005, B014, E001, E014, G001 | E009, E010, E019, E023, G003 | E008, E013, E016, E017, E021 | E015, E018, E020, E024, E026 | B024, E022, E025 | B025 |
| 125 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E010, E019, E023, G003 | E009, E013, E016, E017, E021 | E015, E018, E020, E024, E026 | B024, E022, E025 | B025 |
| 126 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E009, E019, E023, G003 | E010, E013, E016, E017, E021 | E015, E018, E020, E024, E026 | B024, E022, E025 | B025 |
| 127 | B005, B014, E001, E014, G001 | E009, E010, E019, E023, G003 | E008, E015, E016, E017, E021 | B024, E013, E018, E020, E026 | E022, E024, E025 | B025 |
| 128 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E010, E019, E023, G003 | E009, E015, E016, E017, E021 | B024, E013, E018, E020, E026 | E022, E024, E025 | B025 |

(continuação)

| Estágios | | | | | | |
|------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------|----------|
| Sequenciamentos | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 129 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E009, E019, E023, G003 | E010, E015, E016, E017, E021 | B024, E013, E018, E020, E026 | E022, E024, E025 | B025 |
| 130 | B005, B014, E001, E014, G001 | E009, E010, E019, E023, G003 | E008, E013, E015, E017, E021 | B024, E016, E018, E020, E026 | E022, E024, E025 | B025 |
| 131 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E010, E019, E023, G003 | E009, E013, E015, E017, E021 | B024, E016, E018, E020, E026 | E022, E024, E025 | B025 |
| 132 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E009, E019, E023, G003 | E010, E013, E015, E017, E021 | B024, E016, E018, E020, E026 | E022, E024, E025 | B025 |
| 133 | B005, B014, E001, E014, G001 | E009, E010, E019, E023, G003 | E008, E013, E016, E017, E021 | B024, E015, E018, E020, E026 | E022, E024, E025 | B025 |
| 134 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E010, E019, E023, G003 | E009, E013, E016, E017, E021 | B024, E015, E018, E020, E026 | E022, E024, E025 | B025 |
| 135 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E009, E019, E023, G003 | E010, E013, E016, E017, E021 | B024, E015, E018, E020, E026 | E022, E024, E025 | B025 |
| 136 | B005, B014, E001, E014, G001 | E009, E010, E019, E023, G003 | E008, E015, E016, E017, E021 | E013, E018, E020, E025, E026 | B024, E022, E024 | B025 |
| 137 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E010, E019, E023, G003 | E009, E015, E016, E017, E021 | E013, E018, E020, E025, E026 | B024, E022, E024 | B025 |
| 138 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E009, E019, E023, G003 | E010, E015, E016, E017, E021 | E013, E018, E020, E025, E026 | B024, E022, E024 | B025 |
| 139 | B005, B014, E001, E014, G001 | E009, E010, E019, E023, G003 | E008, E013, E015, E017, E021 | E016, E018, E020, E025, E026 | B024, E022, E024 | B025 |
| 140 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E010, E019, E023, G003 | E009, E013, E015, E017, E021 | E016, E018, E020, E025, E026 | B024, E022, E024 | B025 |
| 141 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E009, E019, E023, G003 | E010, E013, E015, E017, E021 | E016, E018, E020, E025, E026 | B024, E022, E024 | B025 |

(continuação)

| Estágios | | | | | | |
|------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------|----------|
| Sequenciamentos | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 142 | B005, B014, E001, E014, G001 | E009, E010, E019, E023, G003 | E008, E013, E016, E017, E021 | E015, E018, E020, E025, E026 | B024, E022, E024 | B025 |
| 143 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E010, E019, E023, G003 | E009, E013, E016, E017, E021 | E015, E018, E020, E025, E026 | B024, E022, E024 | B025 |
| 144 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E009, E019, E023, G003 | E010, E013, E016, E017, E021 | E015, E018, E020, E025, E026 | B024, E022, E024 | B025 |
| 145 | B005, B014, E001, E014, G001 | E009, E010, E019, E023, G003 | E008, E015, E016, E017, E021 | B025, E013, E018, E020, E026 | B024, E022, E025 | E024 |
| 146 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E010, E019, E023, G003 | E009, E015, E016, E017, E021 | B025, E013, E018, E020, E026 | B024, E022, E025 | E024 |
| 147 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E009, E019, E023, G003 | E010, E015, E016, E017, E021 | B025, E013, E018, E020, E026 | B024, E022, E025 | E024 |
| 148 | B005, B014, E001, E014, G001 | E009, E010, E019, E023, G003 | E008, E013, E015, E017, E021 | B025, E016, E018, E020, E026 | B024, E022, E025 | E024 |
| 149 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E010, E019, E023, G003 | E009, E013, E015, E017, E021 | B025, E016, E018, E020, E026 | B024, E022, E025 | E024 |
| 150 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E009, E019, E023, G003 | E010, E013, E015, E017, E021 | B025, E016, E018, E020, E026 | B024, E022, E025 | E024 |
| 151 | B005, B014, E001, E014, G001 | E009, E010, E019, E023, G003 | E008, E013, E016, E017, E021 | B025, E015, E018, E020, E026 | B024, E022, E025 | E024 |
| 152 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E010, E019, E023, G003 | E009, E013, E016, E017, E021 | B025, E015, E018, E020, E026 | B024, E022, E025 | E024 |
| 153 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E009, E019, E023, G003 | E010, E013, E016, E017, E021 | B025, E015, E018, E020, E026 | B024, E022, E025 | E024 |
| 154 | B005, B014, E001, E014, G001 | E009, E010, E019, E023, G003 | E008, E015, E016, E017, E021 | B024, B025, E013, E018, E020 | E022, E025, E026 | E024 |

(continuação)

| Estágios | | | | | | |
|------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------|----------|
| Sequenciamentos | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 155 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E010, E019, E023, G003 | E009, E015, E016, E017, E021 | B024, B025, E013, E018, E020 | E022, E025, E026 | E024 |
| 156 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E009, E019, E023, G003 | E010, E015, E016, E017, E021 | B024, B025, E013, E018, E020 | E022, E025, E026 | E024 |
| 157 | B005, B014, E001, E014, G001 | E009, E010, E019, E023, G003 | E008, E013, E015, E017, E021 | B024, B025, E016, E018, E020 | E022, E025, E026 | E024 |
| 158 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E010, E019, E023, G003 | E009, E013, E015, E017, E021 | B024, B025, E016, E018, E020 | E022, E025, E026 | E024 |
| 159 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E009, E019, E023, G003 | E010, E013, E015, E017, E021 | B024, B025, E016, E018, E020 | E022, E025, E026 | E024 |
| 160 | B005, B014, E001, E014, G001 | E009, E010, E019, E023, G003 | E008, E013, E016, E017, E021 | B024, B025, E015, E018, E020 | E022, E025, E026 | E024 |
| 161 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E010, E019, E023, G003 | E009, E013, E016, E017, E021 | B024, B025, E015, E018, E020 | E022, E025, E026 | E024 |
| 162 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E009, E019, E023, G003 | E010, E013, E016, E017, E021 | B024, B025, E015, E018, E020 | E022, E025, E026 | E024 |
| 163 | B005, B014, E001, E014, G001 | E009, E010, E019, E023, G003 | E008, E015, E016, E017, E021 | B025, E013, E018, E020, E025 | B024, E022, E026 | E024 |
| 164 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E010, E019, E023, G003 | E009, E015, E016, E017, E021 | B025, E013, E018, E020, E025 | B024, E022, E026 | E024 |
| 165 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E009, E019, E023, G003 | E010, E015, E016, E017, E021 | B025, E013, E018, E020, E025 | B024, E022, E026 | E024 |
| 166 | B005, B014, E001, E014, G001 | E009, E010, E019, E023, G003 | E008, E013, E015, E017, E021 | B025, E016, E018, E020, E025 | B024, E022, E026 | E024 |
| 167 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E010, E019, E023, G003 | E009, E013, E015, E017, E021 | B025, E016, E018, E020, E025 | B024, E022, E026 | E024 |

(continuação)

| Estágios | | | | | | |
|------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------|----------|
| Sequenciamentos | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 168 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E009, E019, E023, G003 | E010, E013, E015, E017, E021 | B025, E016, E018, E020, E025 | B024, E022, E026 | E024 |
| 169 | B005, B014, E001, E014, G001 | E009, E010, E019, E023, G003 | E008, E013, E016, E017, E021 | B025, E015, E018, E020, E025 | B024, E022, E026 | E024 |
| 170 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E010, E019, E023, G003 | E009, E013, E016, E017, E021 | B025, E015, E018, E020, E025 | B024, E022, E026 | E024 |
| 171 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E009, E019, E023, G003 | E010, E013, E016, E017, E021 | B025, E015, E018, E020, E025 | B024, E022, E026 | E024 |
| 172 | B005, B014, E001, E014, G001 | E009, E010, E019, E023, G003 | E008, E015, E016, E017, E021 | B024, E013, E018, E020, E026 | B025, E022, E025 | E024 |
| 173 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E010, E019, E023, G003 | E009, E015, E016, E017, E021 | B024, E013, E018, E020, E026 | B025, E022, E025 | E024 |
| 174 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E009, E019, E023, G003 | E010, E015, E016, E017, E021 | B024, E013, E018, E020, E026 | B025, E022, E025 | E024 |
| 175 | B005, B014, E001, E014, G001 | E009, E010, E019, E023, G003 | E008, E013, E015, E017, E021 | B024, E016, E018, E020, E026 | B025, E022, E025 | E024 |
| 176 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E010, E019, E023, G003 | E009, E013, E015, E017, E021 | B024, E016, E018, E020, E026 | B025, E022, E025 | E024 |
| 177 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E009, E019, E023, G003 | E010, E013, E015, E017, E021 | B024, E016, E018, E020, E026 | B025, E022, E025 | E024 |
| 178 | B005, B014, E001, E014, G001 | E009, E010, E019, E023, G003 | E008, E013, E016, E017, E021 | B024, E015, E018, E020, E026 | B025, E022, E025 | E024 |
| 179 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E010, E019, E023, G003 | E009, E013, E016, E017, E021 | B024, E015, E018, E020, E026 | B025, E022, E025 | E024 |
| 180 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E009, E019, E023, G003 | E010, E013, E016, E017, E021 | B024, E015, E018, E020, E026 | B025, E022, E025 | E024 |

(conclusão)

| Estágios | | | | | | |
|------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------|----------|
| Sequenciamentos | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 181 | B005, B014, E001, E014, G001 | E009, E010, E019, E023, G003 | E008, E015, E016, E017, E021 | E013, E018, E020, E025, E026 | B024, B025, E022 | E024 |
| 182 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E010, E019, E023, G003 | E009, E015, E016, E017, E021 | E013, E018, E020, E025, E026 | B024, B025, E022 | E024 |
| 183 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E009, E019, E023, G003 | E010, E015, E016, E017, E021 | E013, E018, E020, E025, E026 | B024, B025, E022 | E024 |
| 184 | B005, B014, E001, E014, G001 | E009, E010, E019, E023, G003 | E008, E013, E015, E017, E021 | E016, E018, E020, E025, E026 | B024, B025, E022 | E024 |
| 185 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E010, E019, E023, G003 | E009, E013, E015, E017, E021 | E016, E018, E020, E025, E026 | B024, B025, E022 | E024 |
| 186 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E009, E019, E023, G003 | E010, E013, E015, E017, E021 | E016, E018, E020, E025, E026 | B024, B025, E022 | E024 |
| 187 | B005, B014, E001, E014, G001 | E009, E010, E019, E023, G003 | E008, E013, E016, E017, E021 | E015, E018, E020, E025, E026 | B024, B025, E022 | E024 |
| 188 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E010, E019, E023, G003 | E009, E013, E016, E017, E021 | E015, E018, E020, E025, E026 | B024, B025, E022 | E024 |
| 189 | B005, B014, E001, E014, G001 | E008, E009, E019, E023, G003 | E010, E013, E016, E017, E021 | E015, E018, E020, E025, E026 | B024, B025, E022 | E024 |

Fonte: O Autor (2020)

APÊNDICE Q - RESOLUÇÃO TABULAR RESUMIDA DO CENÁRIO 2 COM AJUSTE DOS LIMITES

Estágio 1 - Ímpar - Sem 9

| Estados | Retorno Ótimo | Decisões Ótimas | Pendentes no Próximo Estágio |
|--|----------------------|--|--|
| [B005, B014, B024, B025, E001, E008, E009, E010, E013, E014, E015, E016, E017, E018, E019, E020, E021, E022, E023, E024, E025, E026, G001, G003] | 1050052 | [B005, B014, E001, E014, E017, G001, G003] | [B024, B025, E008, E009, E010, E013, E015, E016, E018, E019, E020, E021, E022, E023, E024, E025, E026] |

Estágio 2 - Par - Sem 10

| Estados | Retorno Ótimo | Decisões Ótimas | Pendentes no Próximo Estágio |
|--|----------------------|--------------------------------------|--|
| [B024, B025, E008, E009, E010, E013, E015, E016, E018, E019, E020, E021, E022, E023, E024, E025, E026] | 1051172 | [E008, E009, E010, E019, E021, E023] | [B024, B025, E013, E015, E016, E018, E020, E022, E024, E025, E026] |

Estágio 3 - Ímpar - Sem 11

| Estados | Retorno Ótimo | Decisões Ótimas | Pendentes no Próximo Estágio |
|--|----------------------|--|--|
| [B024, B025, E013, E015, E016, E018, E020, E022, E024, E025, E026] | 1051240 | [E013, E015, E016, E018, E020, E026] [B025, E013, E015, E016, E018, E020] | [B024, B025, E022, E024, E025] [B024, E022, E024, E025, E026] |

Estágio 4 - Par - Sem 12

| Estados | Retorno Ótimo | Decisões Ótimas | Pendentes no Próximo Estágio |
|--------------------------------|----------------------|--|--------------------------------------|
| [B024, B025, E022, E024, E025] | 1051280 | [B025, E022, E024, E025] [B024, B025, E022, E025] [B024, B025, E022, E024] [B024, E022, E024, E025] | [B024] [E024] [E025] [B025] |
| [B024, E022, E024, E025, E026] | 1051280 | [E022, E024, E025, E026] [B024, E022, E025, E026] [B024, E022, E024, E026] [B024, E022, E024, E025] | [B024] [E024] [E025] [E026] |

APÊNDICE R - RESUMO DO CENÁRIO 3

Informações dos Atores

| Aluno | |
|----------------------------------|--------------|
| Semestre Atual | 10 |
| Prazo de Conclusão | 2 |
| Disponibilidade nas Férias | Indisponível |
| Máximo de Disciplinas / Semestre | 4 |
| Mínimo de Disciplinas / Semestre | 1 |

| Coordenador | | |
|--|---------|---------|
| Disciplinas Programadas Apenas nos Semestres | Pares | Nenhuma |
| | Ímpares | Nenhuma |
| Disciplinas Programadas nas Férias de | Verão | Nenhuma |
| | Inverno | Nenhuma |
| Máximo de Disciplinas / Semestre | 6 | |
| Mínimo de Disciplinas / Semestre | 3 | |

| Instituição | |
|----------------------------------|---------|
| Máximo de Disciplinas / Semestre | 12 |
| Mínimo de Disciplinas / Semestre | 1 |
| Próximo Semestre Regular | Segundo |

Histórico do Aluno

| Semestre | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Códigos | B001 | G001 | B010 | G002 | G004 | B022 | E008 | E013 | E018 | B024 |
| | B002 | B006 | B011 | G003 | B019 | B023 | E009 | E014 | E019 | B025 |
| | B003 | B007 | B012 | B016 | B020 | E005 | E010 | E015 | E020 | E023 |
| | B004 | B008 | B013 | B017 | B021 | E006 | E011 | E016 | E021 | E024 |
| | B005 | B009 | B014 | B018 | E003 | E007 | E012 | E017 | E022 | E025 |
| | E001 | | B015 | E002 | E004 | | | | | |

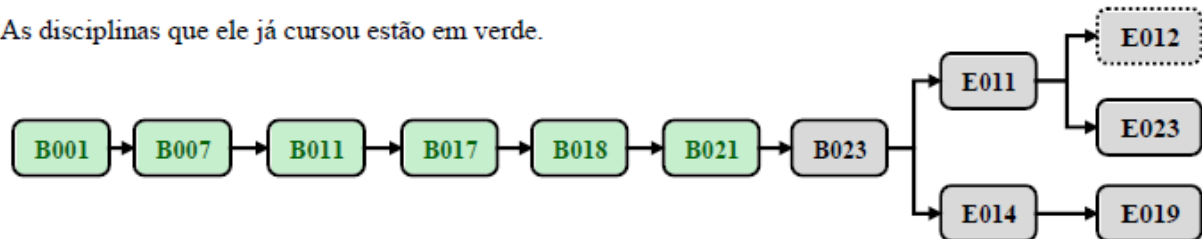
Legenda

| |
|-----------|
| Cursadas |
| Pendentes |

| | | | |
|------|---------|----------|----------------------|
| | Cursada | Pendente | UCH Pendente / Prazo |
| UCH | 38 | 7 | 3,5 |
| %UCH | 84% | 16% | |

Status do Caminho Crítico

As disciplinas que ele já cursou estão em verde.



APÊNDICE S - RESOLUÇÃO TABULAR RESUMIDA DO CENÁRIO 3

Estágio 1 - Par - Sem 11

| Estados | Retorno Ótimo | Decisões Ótimas | Pendentes no Próximo Estágio |
|--|--------------------------------|------------------------|--------------------------------------|
| [B023, E011, E012, E014, E016, E019, E023, E024] | 123794003928538000000000000000 | [B023, E024] | [E019, E012, E023, E011, E016, E014] |

Estágio 2 - Ímpar - Sem 12

| Estados | Retorno Ótimo | Decisões Ótimas | Pendentes no Próximo Estágio |
|--------------------------------------|--------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|
| [E011, E012, E014, E016, E019, E023] | 123794004043943000000000000000 | [E012, E016, E011, E014] | [E019, E023] |

APÊNDICE T - RESOLUÇÃO TABULAR RESUMIDA DO CENÁRIO 3 COM FÉRIAS DE INVERNO

Estágio 1 - Inverno - Sem 11

| Estados | Retorno Ótimo | Decisões Ótimas | Pendentes no Próximo Estágio |
|--|--------------------------------|------------------------|--|
| [B023, E011, E012, E014, E016, E019, E023, E024] | 123794003928538000000000000000 | [B023] | [E012, E016, E024, E014, E023, E019, E011] |

Estágio 2 - Par - Sem 10

| Estados | Retorno Ótimo | Decisões Ótimas | Pendentes no Próximo Estágio |
|--|--------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|
| [E011, E012, E014, E016, E019, E023, E024] | 123794003928538000000000000000 | [E012, E016, E014, E011] | [E024, E023, E019] |

Estágio 3 - Ímpar - Sem 11

| Estados | Retorno Ótimo | Decisões Ótimas | Pendentes no Próximo Estágio |
|--------------------|--------------------------------|------------------------|-------------------------------------|
| [E019, E023, E024] | 123794003928538000000000000000 | [E019, E024, E023] | Terminal |

APÊNDICE U - RESOLUÇÃO TABULAR RESUMIDA DO CENÁRIO 3 COM FÉRIAS DE VERÃO

Estágio 1 - Par - Sem 11

| Estados | Retorno Ótimo | Decisões Ótimas | Pendentes no Próximo Estágio |
|--|--------------------------------|------------------------|--------------------------------------|
| [B023, E011, E012, E014, E016, E019, E023, E024] | 123794003928538000000000000000 | [B023, E024] | [E016, E023, E011, E012, E014, E019] |

Estágio 2 - Verão - Sem 12

| Estados | Retorno Ótimo | Decisões Ótimas | Pendentes no Próximo Estágio |
|--------------------------------------|--------------------------------|------------------------|-------------------------------------|
| [E011, E012, E014, E016, E019, E023] | 123794004043943000000000000000 | [E011, E014] | [E016, E023, E012, E019] |

Estágio 3 - Ímpar - Sem 12

| Estados | Retorno Ótimo | Decisões Ótimas | Pendentes no Próximo Estágio |
|--------------------------|--------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|
| [E012, E016, E019, E023] | 123794004043943000000000000000 | [E016, E019, E023, E012] | Terminal |