

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIAS
COORDENAÇÃO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO
BACHARELADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**

JORGE LUCAS SILVA CAVALCANTE

**PROBLEMA DE ALOCAÇÃO DE SALAS: UMA ABORDAGEM DE
PRIORIZAÇÃO PARA ALUNOS PCD NA UFMA**

**SÃO LUÍS
2023**

JORGE LUCAS SILVA CAVALCANTE

**PROBLEMA DE ALOCAÇÃO DE SALAS: UMA
ABORDAGEM DE PRIORIZAÇÃO PARA ALUNOS
PCD NA UFMA**

Monografia apresentada ao curso de
Ciência da Computação da Universidade
Federal do Maranhão, como parte dos
requisitos necessários para obtenção
do grau de Bacharel em Ciência da
Computação.

Orientador: Prof. Francisco Glaubos
Nunes Clímaco

SÃO LUÍS
2023

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Cavalcante, Jorge Lucas Silva.

Problema de Alocação de Salas : uma abordagem de
priorização para alunos PCD na UFMA / Jorge Lucas Silva
Cavalcante. - 2023.

76 f.

Orientador(a): Francisco Glaubos Nunes Clímaco.

Curso de Ciência da Computação, Universidade Federal do
Maranhão, São Luís, 2023.

1. Alocação de Salas. 2. Otimização. 3. Pesquisa
Operacional. I. Clímaco, Francisco Glaubos Nunes. II.
Título.

JORGE LUCAS SILVA CAVALCANTE

PROBLEMA DE ALOCAÇÃO DE SALAS: UMA ABORDAGEM DE
PRIORIZAÇÃO PARA ALUNOS PCD NA UFMA

Monografia apresentada ao curso de
Ciência da Computação da Universidade
Federal do Maranhão, como parte dos
requisitos necessários para obtenção
do grau de Bacharel em Ciência da
Computação.

Orientador: Prof. Dr Francisco Glaubos
Nunes Clímaco
Universidade Federal do Maranhão -
UFMA

Prof. Dr. Darlan Bruno Pontes Quintanilha
Universidade Federal do Maranhão -
UFMA

Profa. Dra. Simara Vieira da Rocha
Universidade Federal do Maranhão -
UFMA

São Luís, 19 de Dezembro de 2023

Dedico este trabalho a minha avó materna, Maria da Conceição Vale Barbosa *"In Memoriam"*, e a minha mãe Maria Silvana Vale Silva, pois sem elas este trabalho e muitos dos meus sonhos não se realizariam.

Agradecimentos

Agradeço, primeiramente, à Deus, por ser essencial em minha vida, autor de meu destino, meu guia, socorro presente na hora da angústia.

A minha mãe e a toda minha família que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida.

Aos meus amigos e colegas que muito me ajudaram nesta longa caminhada.

Aos professores que tive a oportunidade de conhecer durante a graduação, em especial ao professor Francisco Glaubos, orientador deste trabalho, por sua paciência, dedicação e ajuda para o desenvolvimento do trabalho.

Enfim, agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

“Em seu coração o homem planeja o seu caminho,
mas é o Senhor que determina os seus passos”.

Bíblia Sagrada, Provérbios 16:9

Resumo

A alocação eficiente de salas que satisfaça as partes envolvidas é uma preocupação comum às grandes e médias organizações. No contexto das instituições de ensino, esse é um problema que costuma se repetir semestralmente. Muitas dessas instituições, por falta de alternativas, acabam resolvendo o problema de forma manual, realizando planejamentos, reuniões e outros métodos, o que pode levar dias e ainda resultar em alocações insatisfatórias. Este problema de alocação pode ser classificado com um problema de otimização combinatória. Portanto, o objetivo é propor uma modelagem matemática para dar suporte a tomada de decisões que envolvam o problema de alocação de salas, o modelo também busca considerar questões de acessibilidade para pessoas com deficiência física, utilizando técnicas de programação inteira e o solver Gurobi. A fim de validar o modelo proposto, experimentos computacionais foram realizados a partir de um estudo de caso, a Universidade Federal do Maranhão - UFMA, especificamente o Departamento de Informática do Centro de Ciências Exatas e Tecnologias - DEINF/CCET. Os experimentos computacionais evidenciaram que a otimização multiobjetivo no contexto da alocação de salas, abordada neste estudo, demonstrou eficácia e eficiência ao buscar soluções que satisfazem critérios complexos e variáveis.

Palavras-Chaves: Pesquisa Operacional; Otimização; Alocação de Salas;

Abstract

The efficient allocation of rooms that satisfies all parties involved is a common concern for large and medium-sized organizations. In the context of educational institutions, this is a problem that often recurs semesterly. Many of these institutions, due to a lack of alternatives, end up solving the problem manually, engaging in planning, meetings, and other methods, which can take days and still result in unsatisfactory allocations. This allocation problem can be classified as a combinatorial optimization problem. Therefore, the goal is to propose a mathematical modeling to support decision-making involving the room allocation problem. The model also aims to address accessibility issues for people with physical disabilities, using integer programming techniques and the Gurobi solver. In order to validate the proposed model, computational experiments were conducted based on a case study at the Federal University of Maranhão - UFMA, specifically the Department of Informatics of the Center for Exact and Technological Sciences - DEINF/CCET. The computational experiments demonstrated that multi-objective optimization in the context of room allocation, addressed in this study, showed effectiveness and efficiency in seeking solutions that satisfy complex and variable criteria.

Keywords: Operational Research; Optimization; Classroom Assignment;

Lista de Figuras

1	Exemplo: Problema de Alocação de Recursos	24
2	Subdivisões do Timetabling	26
3	Mapa do Campus São Luís	36
4	Grade Horária do Curso de Ciência da Computação	39
5	Mapa do CCET	39
6	Padrão Planilha das Salas Alocadas	41
7	Padrão Planilha das Pessoas com Necessidades	41
8	Fluxograma de Desenvolvimento	53
9	Gráfico Alfa x F.O.	60
10	Gráfico OBJ1 x OBJ2	61
11	Gráfico da Utilização das Salas	62
12	Mapa de Calor dos Andares	63
13	Gráfico Radar dos Objetivos	64

Lista de Tabelas

1	Relação entre Trabalhos Relacionados e Requisitos Obrigatórios	31
2	Relação entre Trabalhos Relacionados e Requisitos Não Obrigatórios .	32
3	Relação entre Trabalhos Relacionados e Variáveis/Parâmetros	33
4	Levantamento de Salas DEINF-CCET	40
5	Conjunto de Horários	48
6	Conjunto de Salas	49
7	Conjunto de Disciplinas	51
8	Resultados Computacionais	59
9	Resultado da Alocação para $\alpha = 0.5$	64
10	Salas de Aula - 2023.1	73
11	Levantamento PCD - 2023.1	75

Lista de Códigos

5.1	Código de Importação dos Horários	54
5.2	Código de Criação dos Conjunto D e Conjunto C	54
5.3	Código de Criação do Modelo	55
5.4	Código de Criação das Variáveis do Modelo	55
5.5	Código de Criação do Dicionário de Salas	56
5.6	Código de Criação das Restrições do Modelo	56
5.7	Código de Criação da Função Objetivo do Modelo	57

Lista de Abreviaturas e Siglas

AG Algoritmo Genético

API Application Programming Interface

CAP Classroom Assignment Problem

CCET Centro de Ciências Exatas e Tecnologias

DEINF Departamento de Informática

FO Função Objetivo

MA Maranhão

PAS Problema de Alocação de Salas

PO Pesquisa Operacional

PCD Pessoa com Deficiência

PPGCC Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação

PL Programação Linear

PLI Programação Linear Inteira

MIP Programação Inteira Mista

RO Requisito Obrigatório

RN Requisito Não Obrigatório

UFMA Universidade Federal do Maranhão

Sumário

1	Introdução	16
1.1	Contextualização e Motivação	16
1.2	Objetivo	19
1.2.1	Objetivo Geral	19
1.2.2	Objetivos Específicos:	19
1.3	Estrutura do Trabalho	20
2	Fundamentação Teórica	21
2.1	Conceitos	21
2.1.1	Pesquisa Operacional (PO)	21
2.1.2	Programação Linear (PL)	22
2.1.3	Programação Linear Inteira (PLI)	23
2.1.4	Timetabling	24
2.1.5	Problema de Alocação de Salas (PAS)	26
2.2	Trabalhos Relacionados	28
2.2.1	Comparativo	30
2.3	Considerações Finais	34
3	Estudo de Caso	35
3.1	Contextualização do Caso	35
3.1.1	Histórico da Universidade	35
3.1.2	Histórico do Departamento de Informática	36

3.2	Problema Abordado	37
3.2.1	Janela de Horários	38
3.2.2	Salas	39
3.2.3	Disciplinas	41
3.2.4	Pessoas com Deficiências	41
3.3	Considerações Finais	42
4	Modelagem do Problema	43
4.1	Escopo do PAS no Trabalho	43
4.2	Modelo Matemático	44
4.2.1	Parâmetros	44
4.2.2	Variáveis de Decisão	45
4.2.3	Restrições	45
4.2.4	Função Objetivo	46
4.3	Considerações Finais	46
5	Procedimentos Metodológicos	47
5.1	Coleta de Dados	47
5.2	Processamento dos Dados	47
5.2.1	Conjunto de Horários	48
5.2.2	Conjunto de Salas	49
5.2.3	Conjunto de Disciplinas	50
5.3	Implementação da Resolução	52
5.3.1	Importação dos Dados	53
5.3.2	Definição dos Parâmetros	54
5.3.3	Criação do Modelo	55
5.3.4	Adição das Variáveis do Modelo	55

5.3.5	Adição das Restrições do Modelo	56
5.3.6	Definição da Função Objetivo	56
5.3.7	Execução do Modelo e Exportação dos Resultados	57
5.4	Considerações Finais	57
6	Experimentos Computacionais	58
6.1	Considerações Finais	67
7	Conclusões	68
	Referências Bibliográficas	70
	Apêndice A – Código-Fonte	72
	Anexo A – Salas de Aula - 2023.1	73
	Anexo B – Levantamento PCD - 2023.1	75

INTRODUÇÃO

O problema de alocação de salas é um desafio comumente enfrentado em diversas áreas, como educação, eventos e gerenciamento de recursos. O objetivo é atribuir salas a um conjunto de entidades, como estudantes, palestrantes ou atividades, para otimizar certos critérios, como a capacidade das salas, a proximidade entre as entidades ou a minimização de conflitos.

A eficaz alocação de salas em instituições acadêmicas é fundamental para a organização e otimização dos recursos, além de atender às demandas específicas de professores e estudantes. No entanto, quando se considera a acessibilidade para Pessoas com Deficiência (PCDs), o desafio torna-se ainda mais complexo e crucial. A necessidade de criar um ambiente inclusivo, onde todos os membros da comunidade acadêmica possam desfrutar plenamente das instalações, impõe a incorporação de critérios de acessibilidade física na alocação de salas.

Este problema se torna particularmente evidente em instituições de ensino, como universidades, onde a diversidade de alunos e suas necessidades específicas demanda uma abordagem cuidadosa para garantir a equidade e a eficiência na utilização dos espaços. Neste contexto, surge a necessidade de desenvolver modelos matemáticos e estratégias de otimização que integrem a alocação eficiente de salas com considerações essenciais de acessibilidade para PCDs. Este trabalho busca explorar essa interseção desafiadora entre a alocação de salas e a promoção da inclusão, propondo soluções inovadoras para um ambiente acadêmico mais acessível e equitativo.

1.1 Contextualização e Motivação

A alocação de salas na Universidade Federal do Maranhão é uma atividade recorrente, realizada a cada ano letivo nos inícios dos períodos regulares e especiais.

A instituição opera dois períodos regulares, denominados 1º e 2º, e dois períodos especiais (férias), identificados como 3º e 4º. A dinâmica de alocação é crucial para o funcionamento eficiente da universidade, considerando a complexidade de suas operações. A UFMA abriga aproximadamente 45 mil alunos ativos em cursos regulares de graduação. É relevante destacar que, dentre esses alunos, um contingente de 638 indivíduos enfrentam desafios específicos relacionados a deficiências.

Esse grupo de estudantes com deficiência merece atenção especial no processo de alocação de salas para garantir um ambiente acadêmico inclusivo. As soluções propostas para a alocação devem considerar não apenas a eficiência logística, mas também a acessibilidade para garantir que todos os alunos, independentemente de suas necessidades, possam participar plenamente das atividades acadêmicas. Portanto, a alocação de salas na UFMA não é apenas uma questão operacional, mas uma oportunidade para promover um ambiente educacional que respeita a diversidade e atende às demandas específicas de todos os seus membros.

O desafio da alocação de salas na Universidade Federal do Maranhão é especialmente pronunciado durante os semestres regulares da instituição. Isso se deve ao significativo aumento no número de turmas oferecidas, criando uma demanda complexa e demorada para a alocação manual. Nos períodos especiais, nos quais a oferta de turmas é mais restrita, a alocação manual é mais viável e realizada pelos centros acadêmicos de forma mais eficiente.

Conseguir encontrar um lugar justo para todos, levando em conta horários e distâncias acessíveis, é uma regra estabelecida pela RESOLUÇÃO Nº 2.858-CONSEPE de 21 de março de 2023. Conforme a Seção XII, Art. 30, a responsabilidade de priorizar a alocação de espaço físico acessível é atribuída aos Diretores de Centros e Chefes de Departamentos. Essa priorização inclui a consideração de instalações de fácil acesso para pessoas com deficiência, especialmente aquelas que utilizam órteses ou próteses, além da solicitação de recursos para ações de acessibilidade e inclusão educacional.

Automatizar o processo de alocação torna-se, portanto, uma necessidade evidente. Ela não apenas agilizaria a alocação em si, mas também garantiria que as considerações de acessibilidade fossem integradas de maneira eficaz, cumprindo as diretrizes institucionais e promovendo um ambiente inclusivo para todos.

Um sistema de alocação de salas automatizado oferece várias vantagens em

comparação com métodos manuais. Aqui estão algumas das vantagens:

- **Eficiência:** Um sistema automatizado pode realizar a alocação de salas de forma rápida e eficiente, reduzindo significativamente o tempo gasto no processo. Ele pode lidar com abundância de dados e calcular alocações otimizadas em um curto período.
- **Precisão:** Ao utilizar algoritmos e técnicas de programação inteira, um sistema automatizado pode considerar diversas restrições e preferências, garantindo alocações mais precisas e adequadas às necessidades dos envolvidos.
- **Redução de erros:** A automação elimina a possibilidade de erros humanos, como duplicação de alocações ou conflitos de horários. Isso ajuda a evitar retrabalho e assegura que as alocações estejam corretas desde o início.
- **Flexibilidade:** Um sistema automatizado pode lidar facilmente com mudanças de última hora, como alterações de horários, cancelamentos de aulas ou solicitações especiais. Ele pode recalculas as alocações rapidamente e ajustá-las conforme as novas informações.
- **Acessibilidade:** A implementação de um sistema automatizado para alocação de salas, considerando criteriosamente a acessibilidade, representa um avanço significativo na promoção da inclusão e igualdade de oportunidades dentro do ambiente acadêmico. Esse sistema, além de eficiente operacionalmente, assegura que salas adaptadas para pessoas com deficiência sejam designadas conforme as necessidades específicas, criando um ambiente físico inclusivo.
- **Relatórios e Análises:** Um sistema automatizado pode gerar relatórios e análises sobre as alocações de salas, fornecendo informações úteis para tomadas de decisão futuras, otimização de recursos e planejamento estratégico.

Essas vantagens ajudam a otimizar o processo de alocação de salas, reduzir custos, melhorar a satisfação dos envolvidos e aumentar a eficiência geral da instituição.

Este estudo concentra-se na modelagem e resolução do desafio de alocação de salas na UFMA, com ênfase na distribuição de salas para as disciplinas oferecidas pelo DEINF, integrante do CCET, ao curso de Ciência da Computação durante o primeiro período letivo de 2023. Atualmente, essa responsabilidade pela alocação de salas

recai sobre os diretores dos centros acadêmicos, e este processo, frequentemente realizado manualmente, demanda a consideração de diversos fatores, incluindo a identificação manual da presença de alunos com deficiência em determinadas turmas. No entanto, na prática, muitas vezes a alocação é realizada sem levar em consideração a acessibilidade e o ajuste só é realizado após o início das aulas, gerando retrabalho e transtornos para gestão.

O trabalho proposto busca otimizar esse processo, eliminando a alocação manual e introduzindo uma abordagem automatizada, trazendo eficiência e eficácia à tarefa. É crucial ressaltar que a alocação de salas em ambientes universitários é uma área pouco explorada em termos de automação. O trabalho não só preenche essa lacuna ao apresentar uma solução automatizada, mas vai além ao integrar a dimensão da acessibilidade como uma prioridade. Desta forma, este estudo representa uma inovação significativa ao incorporar a acessibilidade como um critério fundamental e ao introduzir métodos automatizados em uma área que tradicionalmente depende de processos manuais.

1.2 Objetivo

1.2.1 Objetivo Geral

Este trabalho propõe uma solução computacional para auxiliar na tomada de decisões relacionadas ao problema de alocação de salas na Universidade Federal do Maranhão com foco nas turmas do Departamento de Informática, vinculado ao Centro de Ciências Exatas e Tecnologias.

1.2.2 Objetivos Específicos:

- Realizar uma revisão da literatura sobre o tema e também temas relacionados, assim como os métodos utilizados na solução.
- Fazer um levantamento sobre as características do problema de alocação enfrentado pela UFMA, por meio de dados fornecidos pela Universidade Federal do Maranhão (UFMA).
- A partir das características do problema, desenvolver um modelo matemático que atenda as necessidades essenciais para o DEINF.

- Agregar ao modelo matemático, características que considerem e priorizem decisões favoráveis à acessibilidade.
- Otimizar a distribuição do espaço físico disponibilizado às turmas abordadas.
- Realizar experimentos computacionais a partir de cenários de simulação, gerados a partir de dados reais da UFMA.
- Identificar pontos de melhoria e apresentar ideias para trabalhos futuros.

1.3 Estrutura do Trabalho

Os próximos capítulos foram estruturados para facilitar a compreensão do problema e posterior entendimento do desenvolvimento e apresentação do modelo proposto como solução.

O Capítulo 2 traz a fundamentação teórica que este trabalho se baseia para propor o modelo de solução, os conceitos utilizados e alguns trabalhos correlacionados com o problema abordado.

O Capítulo 3 apresenta o estudo de caso abordado pelo trabalho.

O Capítulo 4 aborda o desenvolvimento do modelo com seu escopo e sua formulação matemática.

O Capítulo 5 explana sobre os procedimentos metodológicos para implementação do modelo como solução computacional.

O Capítulo 6 apresenta os resultados obtidos e a análise realizada sobre eles.

Por fim, o Capítulo 7 traz a importância do trabalho, apresentando as considerações dos resultados alcançados, além de sinalizar possíveis direções e expansões do trabalho realizado.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, abordamos os conceitos que servirão como alicerce para a compreensão do trabalho que se segue, com cada um desses conceitos desempenhando um papel fundamental na estruturação das ideias e na análise dos tópicos abordados nas seções subsequentes.

Além disso, este capítulo apresenta trabalhos relacionados ao tema de estudo que serviram como fontes confiáveis de informação e guia para o desenvolvimento do trabalho. Essas referências representam contribuições significativas ao campo de estudo, proporcionando uma base sólida para a pesquisa e análise detalhada que se seguirá nas próximas seções.

2.1 Conceitos

2.1.1 Pesquisa Operacional (PO)

A Pesquisa Operacional (PO) é uma disciplina que utiliza métodos matemáticos e técnicas analíticas para resolver problemas complexos de tomada de decisão. Ela desempenha um papel fundamental na identificação de soluções eficientes e na otimização de processos em uma ampla variedade de contextos, desde a gestão de operações até a logística, planejamento de produção, distribuição de recursos e muito mais. Como afirma Winston, Venkataramanan & Goldberg (2003), a pesquisa operacional “torna possível tomar decisões inteligentes em situações de negócios, governo e engenharia que envolvem complexidade e incerteza”.

A pesquisa operacional envolve vários métodos e técnicas, incluindo programação linear, programação inteira, programação dinâmica, teoria das filas, teoria dos jogos, entre outros. Segundo descrito por Taha (2011), os passos típicos em uma abordagem de PO incluem:

1. **Identificação do Problema:** Definir claramente o problema a ser resolvido e estabelecer os objetivos a serem alcançados.
2. **Modelagem Matemática (Construção do Modelo):** Desenvolver um modelo matemático que represente o problema apropriadamente, incluindo a definição de variáveis de decisão, restrições hard (obrigatórias), restrições softs (não obrigatórias) e a função objetivo.
3. **Resolução do Modelo:** Utilizar técnicas matemáticas, como programação linear, programação inteira, simulação ou algoritmos de otimização para encontrar a melhor solução do modelo.
4. **Avaliação (Validação) do Modelo:** Avaliar a solução em termos dos objetivos definidos e das limitações do sistema.
5. **Implementação:** Aplicar a solução encontrada no contexto do problema real.
6. **Tomada de Decisão:** Com base na avaliação, tomar decisões informadas e ajustar possivelmente o modelo ou as soluções, se necessário.

A importância da pesquisa operacional está intrinsecamente ligada à sua capacidade de fornecer uma estrutura analítica para a resolução de problemas complexos. Ela permite a análise de cenários, a identificação de soluções ótimas e a avaliação de alternativas com base em critérios bem definidos. Isso é particularmente valioso em ambientes onde a eficiência e a eficácia são essenciais.

2.1.2 Programação Linear (PL)

A Programação Linear (PL) é uma técnica de otimização matemática que lida com a maximização ou minimização de uma função linear sujeita a um conjunto de restrições lineares. Essa abordagem é amplamente utilizada para resolver problemas de alocação de recursos escassos de maneira eficiente. Como mencionado por Hillier & Lieberman (2013), “a programação linear é um método poderoso para encontrar soluções ótimas em situações nas quais as alternativas viáveis são conhecidas e podem ser representadas linearmente”.

A importância da PL reside na sua capacidade de modelar e resolver uma ampla gama de problemas reais, incluindo logística, gerenciamento de produção, distribuição de recursos e planejamento de projetos. Ela fornece uma estrutura analítica que

permite encontrar soluções eficientes, otimizar o uso de recursos e tomar decisões bem fundamentadas.

2.1.3 Programação Linear Inteira (PLI)

A Programação Linear Inteira (PLI) é uma técnica de otimização matemática que lida com problemas nos quais a busca pela melhor solução envolve variáveis de decisão que só podem assumir valores inteiros. Essa abordagem é valiosa em situações em que as decisões a serem tomadas estão sujeitas a restrições, e os resultados desejados são expressos como uma função linear que precisa ser maximizada ou minimizada.

De acordo com Hillier & Lieberman (2013), a programação linear inteira é uma extensão da programação linear tradicional, na qual as variáveis de decisão são restritas a valores inteiros. Essa técnica é frequentemente aplicada em áreas como logística, gerenciamento de cadeias de suprimentos e planejamento de produção, onde a alocação de recursos deve ser feita de maneira discreta e eficaz.

Os problemas de PLI são amplamente utilizados em situações em que as decisões envolvem quantidades discretas, como a alocação de recursos, programação de produção, design de rede, design de transporte, atribuição de tarefas, entre outros.

A resolução de problemas de PLI envolve a aplicação de algoritmos de otimização específicos para encontrar a solução inteira ótima ou uma solução aproximada, uma vez que a natureza discreta das variáveis pode tornar a busca por uma solução ótima mais desafiadora do que em problemas de PL. Alguns algoritmos comuns para resolver problemas de PLI incluem o Método Branch and Bound, o Método Branch and Cut e a Programação Dinâmica.

A importância da programação linear inteira reside na sua capacidade de lidar com problemas reais que envolvem decisões discretas, como a alocação de recursos escassos. Ela permite encontrar soluções ótimas ou aproximadas para esses problemas, auxiliando na tomada de decisões informadas e na otimização de processos.

Os problemas LP abordados neste projeto serão descritos pela forma definida por Chvátal (1983), que enfatiza a necessidade de expressar o problema de forma matemática, definindo claramente as variáveis de decisão, a função objetivo e as restrições, utilizando equações e inequações lineares (Figura1).

Figura 1: Exemplo: Problema de Alocação de Recursos**Exemplo: Problema de Alocação de Recursos**

Objetivo: Maximizar a eficiência na alocação de recursos em três departamentos (A, B, C) com orçamentos limitados.

Variáveis de Decisão:

- x_1 : Recursos alocados ao Departamento A
- x_2 : Recursos alocados ao Departamento B
- x_3 : Recursos alocados ao Departamento C

Função Objetivo:

Maximizar $5x_1 + 8x_2 + 6x_3$

Restrições:

1. **Recursos Disponíveis:** $x_1 \leq 20, x_2 \leq 30, x_3 \leq 25$
2. **Orçamentos Limitados:** $3x_1 + 2x_2 + 4x_3 \leq 60$
3. **Não Negatividade:** $x_1, x_2, x_3 \geq 0$

Fonte: Chvátal (1983)

Onde a função objetivo representa o que queremos maximizar (por exemplo, lucro, utilidade). As restrições representam as limitações e condições do problema.

Essa formulação é um exemplo simples, em problemas mais complexos, a formulação pode incluir mais variáveis e restrições. A chave é traduzir as condições do problema em termos matemáticos.

2.1.4 Timetabling

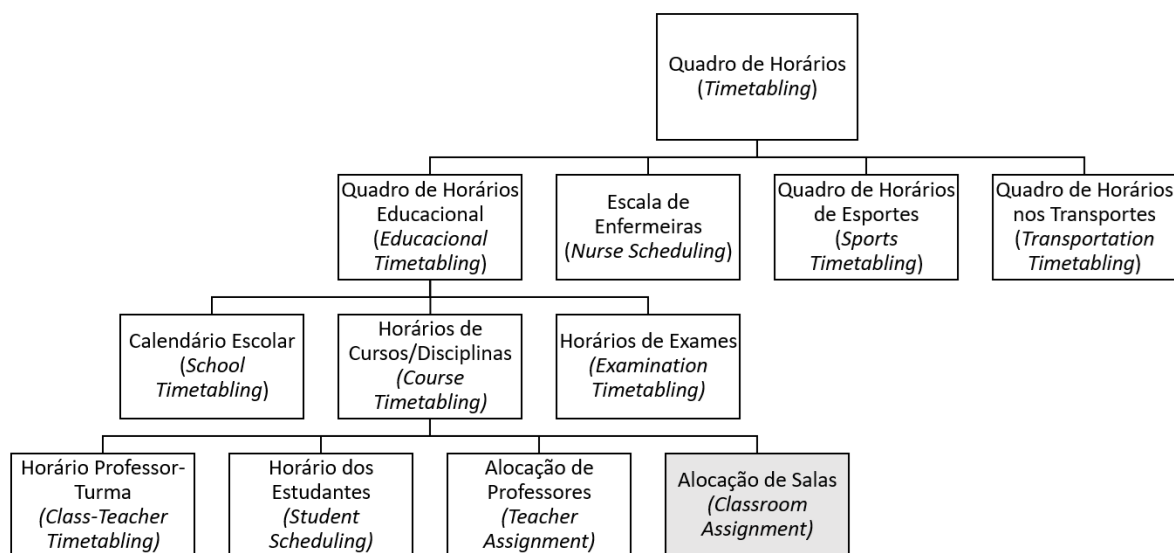
O problema de timetabling, ou alocação de horários, envolve o desafio de atribuir recursos temporais, como horários e datas, a eventos, atividades ou entidades, considerando uma série de restrições e critérios específicos. De acordo com Burke, Werra & Kingston (2003), o problema de timetabling refere-se à “alocação eficiente de recursos temporais a eventos, de modo a otimizar a utilização desses recursos”. Para Qu *et al.* (2009) esse tipo de problema surge em diversas formas como:

- **Educational Timetabling:** O Educational Timetabling é uma disciplina concentrada na elaboração eficiente de cronogramas para instituições educacionais, como escolas, universidades ou outras organizações acadêmicas. Ele aborda a tarefa de alocar recursos temporais, como salas de aula e períodos, para atividades acadêmicas, incluindo aulas, exames, reuniões e outros eventos educacionais. O objetivo é criar um horário que otimize a utilização dos recursos disponíveis, respeitando diversas restrições, como a disponibilidade de salas, preferências de professores, requisitos curriculares e preferências dos alunos.
- **Nurse Scheduling:** O Nurse Scheduling refere-se ao processo de criação de horários eficientes para enfermeiros em ambientes de saúde, como hospitais ou clínicas. Este processo envolve a alocação apropriada de enfermeiros para diferentes turnos, dias da semana e unidades, garantindo cobertura adequada para atender às necessidades dos pacientes. O objetivo é otimizar a distribuição de recursos humanos, considerando as habilidades específicas dos enfermeiros, suas preferências de horário e as políticas de trabalho da instituição.
- **Sports Timetabling:** O Sports Timetabling refere-se ao processo de elaboração de cronogramas eficientes para eventos esportivos e atividades relacionadas. Este processo envolve a alocação de horários e locais para treinamentos, competições, jogos e outras atividades esportivas. O objetivo é otimizar a utilização de instalações esportivas, garantir a disponibilidade de equipes e participantes, e criar um cronograma que atenda às necessidades logísticas e competitivas.
- **Transportation Timetabling:** O Transportation Timetabling refere-se ao processo de criação de horários eficientes para o transporte, como ônibus, trens ou outras modalidades de locomoção. Este processo envolve a alocação adequada de horários de partida e chegada, bem como a definição de rotas para otimizar o transporte de pessoas ou mercadorias. O objetivo é criar um cronograma que atenda à demanda de passageiros ou ao transporte de carga, garantindo eficiência operacional e atendendo às necessidades logísticas (CLÍMACO *et al.*, 2022).

Este trabalho se concentrará no Problema de Alocação de Salas (Classroom Assignment Problem), que pode ser apresentado como um subproblema do Course Timetabling, uma subdivisão do Educational timetabling, e envolve agendar disciplinas

em salas específicas, dado um horário já estabelecido. A Figura 2 apresenta as subdivisões do problema de Timetabling apresentadas por Sales *et al.* (2015).

Figura 2: Subdivisões do Timetabling



Fonte: Sales *et al.* (2015)

2.1.5 Problema de Alocação de Salas (PAS)

O Problema de Alocação de Salas é um desafio comum no âmbito acadêmico e envolve a tarefa de atribuir salas de aula de maneira eficiente para disciplinas específicas em um horário predefinido. A complexidade desse problema reside na necessidade de otimizar a utilização dos recursos físicos disponíveis, como salas de aula, considerando diversas restrições e critérios (VANSTEENWEGEN; OCHOA, 2015).

Aqui estão alguns aspectos essenciais do Problema de Alocação de Salas (SOCHA; KNOWLES, 2009):

1. **Horário Estabelecido:** O problema assume a existência de um horário pré-determinado no qual as atividades acadêmicas, como aulas e exames, devem ocorrer.
2. **Disciplinas Específicas:** Cada disciplina requer um espaço adequado para realizar suas atividades. A alocação de salas precisa ser feita considerando as características específicas de cada disciplina.

3. **Recursos Físicos Limitados:** As salas de aula são recursos físicos limitados. O desafio é atribuir esses recursos eficientemente para atender à demanda de disciplinas e turmas.
4. **Capacidade das Salas:** Cada sala tem uma capacidade máxima de estudantes. A alocação deve respeitar essa capacidade para garantir condições adequadas de ensino.
5. **Preferências de Horários:** Professores e estudantes muitas vezes têm preferências de horários. O problema precisa considerar essas preferências para criar um cronograma viável.
6. **Minimização de Conflitos:** O objetivo é minimizar conflitos de horários, evitando sobreposições ou alocações inadequadas que prejudiquem o bom andamento das atividades acadêmicas.
7. **Restrições Adicionais:** Dependendo do contexto específico, podem existir outras restrições a serem consideradas, como a necessidade de salas especializadas para certas disciplinas.

A resolução eficiente do Problema de Alocação de Salas (PAS) é essencial para assegurar um ambiente acadêmico organizado, promover a eficiência na utilização de recursos e atender às necessidades de professores e estudantes. Existem várias abordagens relacionadas ao problema de alocação de salas visando a resolução eficiente do problema, incluindo:

- **Algoritmo Genético (AG):** Os algoritmos genéticos são técnicas inspiradas na genética e evolução biológica que podem ser aplicadas ao problema de alocação de salas. Eles envolvem criar uma população inicial de soluções, a aplicação de operadores genéticos (como cruzamento e mutação) para gerar novas soluções e a seleção das melhores soluções para a próxima geração. (GOLDBERG, 1989)
- **PLI:** A programação linear inteira é uma abordagem matemática que modela o problema de alocação de salas como um conjunto de restrições e uma função objetivo linear. Essa abordagem permite encontrar uma solução ótima, mas pode ser computacionalmente inviável em problemas de grande escala (WOLSEY, 2020).

- **Heurísticas e Meta-heurísticas:** Existem várias heurísticas e meta-heurísticas desenvolvidas para resolver o problema de alocação de salas, como o algoritmo Simulated Annealing, o algoritmo Tabu Search e o algoritmo Greedy. Essas técnicas visam encontrar soluções viáveis e de boa qualidade, embora não garantam a solução ótima (CLÍMACO *et al.*, 2023).

Além disso, existem estudos acadêmicos, artigos científicos e conferências especializadas na área de otimização e alocação de salas, onde se pode encontrar mais referências e abordagens específicas para lidar com esse problema.

Mais adiante no trabalho, será aprofundado a análise do PAS, por meio de uma síntese e comparação entre trabalhos relacionados ao tema, apresentação do estudo de caso e subsequente desenvolvimento do modelo e solução do problema abordado.

2.2 Trabalhos Relacionados

Nesta seção, serão apresentados os trabalhos escolhidos como guias após analisar artigos relacionados à busca do estado da arte em metodologias para o problema de organização de grade horária em instituições de ensino superior.

O trabalho de Tomaz & Fonseca (2020) aborda o Problema de Alocação de Disciplinas a Professores, utilizando um modelo de emparelhamento em grafos, PLI juntamente com o *solver* Gurobi. Pontos fortes incluem a criação de um modelo genérico e uma interface gráfica intuitiva, enquanto a orientação à minimização de violações é um ponto fraco.

O estudo de Couto, Paulino *et al.* (2019) foca na alocação de salas no IFG - Campus Goiânia, utilizando algoritmo guloso e Simulated Annealing. Destaca-se pela maximização da ocupação das salas, mas enfrenta desafios com o crescimento exponencial do tempo de execução.

No artigo de Kripka, Kripka & Silva (2011) foi desenvolvida uma formulação inovadora para a alocação de salas na Universidade de Passo Fundo, priorizando a minimização dos deslocamentos dos alunos. Pontos fortes incluem a consideração do deslocamento e a aplicação do Simulated Annealing, enquanto a limitação a tipos específicos de salas é um ponto fraco.

Silva *et al.* (2019) apresenta um modelo de programação linear inteira para

alocação de salas na UFPB, destacando-se pela alocação eficiente e consideração das preferências de disciplinas por salas. No entanto, a possibilidade de violação da restrição de capacidade é um ponto fraco.

No seu trabalho Freitas *et al.* (2019) propõe uma solução automatizada para alocação de professores na Unicamp, utilizando PLI juntamente com o *solver* Gurobi. Pontos fortes incluem o parser direto dos dados e uma interface intuitiva, enquanto a dependência do parser e a falta de exportação eficiente dos resultados são pontos fracos.

O artigo de Wodtke *et al.* (2022) otimiza a alocação de professores em uma escola pública usando programação linear inteira juntamente com o *solver* Gurobi, minimizando janelas de horários. Destaca-se pela eficiência na distribuição, mas a minimização pode ser mais relevante para o ensino médio, e a falta de exportação dos resultados é uma limitação.

No seu trabalho Sales *et al.* (2015) otimiza a alocação de salas no Centro de Tecnologia da UFSM, considerando o deslocamento e a otimização do tempo de execução utilizando-se do CPLEX e ZIMPL. Pontos fortes incluem a alocação eficiente e a possibilidade de escalonamento, enquanto a limitação na abordagem de acessibilidade, sendo tratada apenas como uma questão de sobra de salas nos prédios mais acessíveis, é um ponto fraco.

Prado & Souza (2014) apresenta um sistema com Simulated Annealing alimentado pelo algoritmo guloso para alocação de salas, destacando-se pela utilização de banco de dados e interface amigável. No entanto, a orientação a penalizações pode necessitar de ajustes após a alocação.

O estudo de NUNES, Silva & Tavares (2017) desenvolve um modelo matemático para o PAS com GAMS e Métodos Exatos, minimizando o custo de deslocamento. Destaca-se pela comodidade, mas carece de validação completa com dados reais.

O artigo de Jardim & Carvalho (2018) cria um software web para resolver o Classroom Assignment Problem (CAP) com Gurobi, SCIP e heurística paralela ILS-RVND. Pontos fortes incluem a consideração completa dos recursos das salas, mas a falta de avaliação de tempo é um ponto fraco.

2.2.1 Comparativo

Nesta seção, delinea-se um comparativo entre requisitos obrigatórios, e requisitos não obrigatórios, assim como as variáveis fundamentais empregadas na formatação dos modelos presentes nos trabalhos relacionados, proporcionando uma análise abrangente das abordagens utilizadas para atender às complexas demandas de otimização. Ao compreender as nuances entre requisitos obrigatórios e não obrigatórios, bem como as variáveis que fundamentam os modelos, os leitores serão conduzidos a uma compreensão mais profunda das estratégias empregadas na resolução de problemas similares na literatura.

Requisitos Obrigatórios (Hards)

Requisito Obrigatório (RO), também conhecidos como “Hards”, são condições essenciais e inflexíveis que devem ser rigorosamente atendidas para o sucesso de uma resolução de um problema.

Entre os trabalhos apresentados anteriormente, temos os seguintes ROs:

- **RO1:** Número mínimo de dias entre os encontros do evento.
- **RO2:** Número máximo de dias entre os encontros do evento.
- **RO3:** Duração máxima dos eventos que podem ser atribuídos ao professor.
- **RO4:** Número mínimo desejado de dias trabalhados pelo professor.
- **RO5:** Número máximo desejado de dias trabalhados pelo professor.
- **RO6:** Não pode haver em uma mesma sala e horário mais de uma turma.
- **RO7:** Poderá alocar somente uma sala por turma que possui capacidade de suporte à quantidade de alunos da turma.
- **RO8:** Toda sala receberá uma disciplina.
- **RO9:** Disciplinas que necessitem de laboratórios específicos deverão estar alocadas nos seus devidos locais (por exemplo: laboratório de programação);
- **RO10:** Cada disciplina de uma turma é lecionada no máximo uma vez por dia.

Dada a relação dos trabalhos aos requisitos acima obtemos a seguinte tabela:

Tabela 1: Relação entre Trabalhos Relacionados e Requisitos Obrigatórios

Trabalho/Artigo	RO1	RO2	RO3	RO4	RO5	Trabalho/Artigo	RO6	RO7	RO8	RO9	RO10
Tomaz & Fonseca (2020)	■	■	■	■	■	Tomaz & Fonseca (2020)					
Couto, Paulino <i>et al.</i> (2019)						Couto, Paulino <i>et al.</i> (2019)	■	■			
Kripka, Kripka & Silva (2011)						Kripka, Kripka & Silva (2011)	■	■			
Silva <i>et al.</i> (2019)						Silva <i>et al.</i> (2019)	■	■		■	
Freitas <i>et al.</i> (2019)				■	■	Freitas <i>et al.</i> (2019)	■				
Wodtke <i>et al.</i> (2022)						Wodtke <i>et al.</i> (2022)	■	■			■
Sales <i>et al.</i> (2015)						Sales <i>et al.</i> (2015)	■	■		■	
Prado & Souza (2014)						Prado & Souza (2014)	■	■		■	
NUNES, Silva & Tavares (2017)						NUNES, Silva & Tavares (2017)	■	■			
Jardim & Carvalho (2018)						Jardim & Carvalho (2018)	■	■			

Fonte: Autor

Como pode ser observado na Tabela 1, os requisitos RO6 e RO7 estiveram em praticamente todos os trabalhos, seguidos pelo RO9, evidenciando suas relevâncias para o desenvolvimento de soluções para o problema de alocação, independentemente do estudo de caso abordado.

Requisitos Não Obrigatórios (Softs)

Requisito Não Obrigatório (RN), ou "Softs", são condições desejáveis e flexíveis em um projeto ou problema. Sua satisfação não é estritamente necessária, mas atendê-los pode aprimorar a qualidade ou a eficácia da solução. Esses requisitos são preferenciais, mas a não implementação deles não inviabiliza a solução.

Entre os trabalhos apresentados anteriormente, temos os seguintes RN:

- **RN1:** Cada turma poderá ter necessidade de recursos especiais como: Tela de projeção, Computadores, Softwares entre outros.
- **RN2:** Cada turma poderá ser alocada em uma sala próxima ao bloco do seu curso.
- **RN3:** Cada turma pode ser alocada na mesma sala durante a semana.
- **RN4:** Existência de uma sobra de lugares na sala, com relação ao número de alunos inscritos na disciplina a ser ministrada nesta sala.
- **RN5:** Procura-se manter o professor a maior disponibilidade de períodos na mesma sala.

Dada a relação dos trabalhos aos requisitos acima obtemos a seguinte tabela:

Tabela 2: Relação entre Trabalhos Relacionados e Requisitos Não Obrigatórios

Trabalho/Artigo	RN1	RN2	RN3	RN4	RN5
Tomaz & Fonseca (2020)					
Couto, Paulino <i>et al.</i> (2019)	■	■	■		
Kripka, Kripka & Silva (2011)				■	
Silva <i>et al.</i> (2019)	■		■	■	
Freitas <i>et al.</i> (2019)					
Wodtke <i>et al.</i> (2022)					
Sales <i>et al.</i> (2015)	■	■	■		■
Prado & Souza (2014)					
NUNES, Silva & Tavares (2017)					
Jardim & Carvalho (2018)	■			■	

Fonte: Autor

Como pode ser observado na Tabela 2, a não definição de requisitos não obrigatórios teve maior repetição, seguida pelo requisito RN1, que teve maior presença nos trabalhos, seguido pelos RN2, RN3 e RN4. Por se tratarem de requisitos qualitativos, os não obrigatórios tiveram suas presenças menos expressivas do que as dos obrigatórios.

Variáveis/Parâmetros

As variáveis em uma função objetivo são os elementos ajustáveis cujos valores são determinados durante o processo de otimização para alcançar o melhor resultado possível conforme os critérios específicos do problema. Essas variáveis são os parâmetros sobre os quais a função objetivo depende e cujos valores impactam o resultado da função. Em problemas de otimização, a função objetivo é formulada para ser otimizada, ou seja, encontrar os valores ideais para as variáveis que maximizem ou minimizem a função em questão.

Entre os trabalhos apresentados anteriormente, temos as seguintes variáveis (V):

- V1: Eventos.
- V2: Professores.
- V3: Disciplinas.
- V4: Salas.
- V5: Tempos.

- V6: Recursos.
- V7: Capacidades.
- V8: Ocupação.
- V9: Distância.
- V10: Acessibilidade.

Dada a relação dos trabalhos aos requisitos acima obtemos a seguinte tabela:

Tabela 3: Relação entre Trabalhos Relacionados e Variáveis/Parâmetros

Trabalho/Artigo	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10
Tomaz & Fonseca (2020)	■	■	■	■	■					
Couto, Paulino <i>et al.</i> (2019)				■	■	■	■	■	■	
Kripka, Kripka & Silva (2011)			■	■			■	■	■	
Silva <i>et al.</i> (2019)			■	■	■		■	■		
Freitas <i>et al.</i> (2019)		■	■		■					
Wodtke <i>et al.</i> (2022)		■	■	■	■					
Sales <i>et al.</i> (2015)			■	■	■	■	■		■	■
Prado & Souza (2014)			■	■	■		■		■	
NUNES, Silva & Tavares (2017)			■	■	■					
Jardim & Carvalho (2018)			■	■	■	■	■			

Fonte: Autor

Como pode ser observado na Tabela 3, as variáveis Disciplinas (V3), Salas (V4) e Tempos (V5) estiveram presentes em praticamente todos os trabalhos, seguidas pela Capacidade (V7), indicando sua relevância como fortes candidatas a serem empregadas nas possíveis soluções de trabalhos similares aos apresentados.

Análise Comparativa

Este trabalho mais se alinha aos estudos de Wodtke *et al.* (2022), Sales *et al.* (2015) e Prado & Souza (2014), compartilhando abordagens semelhantes na resolução da alocação. Os trabalhos em questão convergem nos requisitos obrigatórios RO6 e RO7. No entanto, destaca-se que o trabalho de Wodtke se diferencia por não incluir o RO9 em sua abordagem. Além disso, observa-se que todos os trabalhos, incluindo este, compartilham os parâmetros V3, V4 e V5. Notavelmente, este trabalho e o de Sales têm uma afinidade mais acentuada, pois também partilham os parâmetros V7, V8 e V10. A particularidade entre eles reside na abordagem do parâmetro V10, Acessibilidade. Enquanto Sales tratou a acessibilidade como

um Requisito Não Essencial (RN) que não chegou a ser efetivado, este trabalho a considerou como um objetivo prioritário, destacando uma diferenciação na abordagem desses projetos.

2.3 Considerações Finais

Neste capítulo, foram explorados os conceitos teóricos fundamentais e trabalhos relacionados ao tema que fornecem uma base sólida para a compreensão do problema de alocação. A análise cuidadosa desses fundamentos e pesquisas anteriores estabelece o contexto necessário para a condução do estudo de caso proposto. No capítulo subsequente, direcionaremos nossa atenção para o cerne desta pesquisa, apresentando em detalhes o estudo de caso abordado, com a análise da problemática real.

ESTUDO DE CASO

Demonstrados os conceitos e trabalhos relacionados para solução do PAS no capítulo anterior, este capítulo se aprofunda no estudo de caso abordado por este trabalho, a alocação para o Departamento de Informática da UFMA, compreendendo suas especificidades e definindo a técnica que irá auxiliar na resolução do problema. Para tanto, descreveremos o problema de alocação de salas e determinaremos a modelagem do problema, com a definição da função objetivo e das restrições destacadas ao longo da pesquisa.

3.1 Contextualização do Caso

3.1.1 Histórico da Universidade

A Universidade Federal do Maranhão (UFMA) tem suas raízes na antiga Faculdade de Filosofia de São Luís do Maranhão, fundada em 1953 por iniciativa da Academia Maranhense de Letras, da Fundação Paulo Ramos e da Arquidiocese de São Luís. Ao longo de sua história, passou por transformações significativas, desvinculando-se da Fundação inicial para integrar a Sociedade Maranhense de Cultura Superior (SOMACS) e, posteriormente, dando origem à Fundação Universidade do Maranhão (FUM). A UFMA foi oficialmente criada em 1966, buscando expandir progressivamente suas atividades educacionais. Seu primeiro campus, o Campus do Bacanga, foi inaugurado em 1972. O Palácio Cristo Rei, sede da Reitoria, é um marco arquitetônico construído em 1877, com uma rica história que inclui a antiga Faculdade de Filosofia. Atualmente, com mais de cinco décadas de existência, a UFMA desempenha um papel crucial no desenvolvimento do Maranhão, proporcionando formação acadêmica, realizando pesquisas e contribuindo para diversas áreas por meio de extensão e inovação tecnológica (UFMA, 2023).

A Universidade hoje conta com 9 Campi distribuídos no estado, com o campus

sede localizado na capital do estado, São Luís (Figura 3), que na esfera acadêmica divide-se em 4 centros: o Centro de Ciências Humanas — CCH, o Centro de Ciências Sociais — CCSO, o Centro de Ciências Biológicas e da Saúde — CCBS, o Centro de Ciências Exatas e Tecnologia — CCET, além do Centro Pedagógico Paulo Freire. O trabalho terá como foco o CCET, especificamente o Departamento de Informática, com as disciplinas ofertadas ao curso de Ciências da Computação.

Figura 3: Mapa do Campus São Luís



Fonte: UFMA (2023)

3.1.2 Histórico do Departamento de Informática

O Departamento de Informática da Universidade foi criado em 1987, uma resposta às demandas dos primeiros alunos de Ciência da Computação. As principais motivações incluíam a falta de disciplinas, desafios na distribuição de professores, alterações na oferta de disciplinas após matrículas e problemas na inscrição de disciplinas devido à retenção de pedidos de aproveitamento de estudos.

A criação do Departamento foi formalizada pela Resolução Nº 10/92 do CONSUN, estabelecendo um corpo docente inicial de 16 professores. Atualmente, o departamento conta com 20 docentes, atendendo a 18 cursos em vários centros da Universidade.

Quanto à infraestrutura, o departamento dispõe de um auditório multimídia para 50 pessoas, quatro laboratórios de ensino com cerca de 120 computadores, cinco laboratórios de pesquisa/extensão, dois núcleos de pesquisa e quatro laboratórios associados ao PPGCC. Essa estrutura robusta sustenta as atividades de ensino, pesquisa e extensão desenvolvidas pelo departamento.

3.2 Problema Abordado

O problema de alocação de salas na Universidade Federal do Maranhão (UFMA) representa um desafio significativo durante os períodos letivos, que compreendem até quatro etapas em um ano, incluindo dois regulares e dois especiais (férias). Esse processo abrange os nove campi, cada um com seus respectivos centros, totalizando 95 cursos regulares e aproximadamente 45 mil alunos (PROEN/UFMA, 2023).

Dentro desse contexto complexo, este trabalho direciona seu enfoque para o Departamento de Informática, vinculado ao Centro de Ciências Exatas e Tecnologia (CCET). Especificamente, serão analisadas as disciplinas oferecidas ao curso de Ciência da Computação no primeiro período de 2023 (2023.1), visando otimizar a alocação de salas nesse ambiente acadêmico.

Cabe destacar que o Centro de Ciências Exatas e Tecnologias (CCET), que abriga o Departamento de Informática, é um dos pilares da UFMA, com 17 cursos vinculados e uma comunidade estudantil de quase 13 mil alunos (PROEN/UFMA, 2023). Nesse cenário, a alocação de salas no centro prioriza turmas com maior número de alunos matriculados, o que, por vezes, resulta na desconsideração de turmas com poucos alunos na alocação do centro. Como consequência, cabe ao departamento a tarefa de alocar essas turmas, e devido à escassez de salas, muitas vezes, os laboratórios são utilizados para acomodar essas turmas, aumentando a demanda por esses espaços.

Dessa forma, a pesquisa não apenas visa resolver desafios específicos de alocação de salas, mas também contribuir para a eficiência geral da gestão acadêmica, considerando a dinâmica desafiadora da alocação no centro. Além disso, a pesquisa se estende à otimização da alocação dos laboratórios de informática. A resolução desse problema específico não só pode servir como modelo extensível para outras salas especiais, como laboratórios de física, elétrica e química, mas também oferece uma abordagem abrangente para a gestão de salas especiais em diferentes centros e departamentos da universidade. Essa abordagem integrada visa enfrentar

desafios comuns relacionados à gestão de espaços acadêmicos na UFMA.

A escolha do período de 2023.1 como fonte principal de dados para este estudo de caso se justifica pela relevância temporal e pelas características específicas deste momento. Este período representa um marco importante na trajetória da instituição, uma vez que corresponde ao retorno às atividades presenciais após o término da Pandemia de COVID-19. Esse contexto singular proporciona uma oportunidade valiosa para analisar e compreender as dinâmicas, desafios e inovações relacionadas à retomada das atividades acadêmicas no formato presencial.

Ao longo desta análise, serão apresentadas as janelas de horários, alocação de salas, disciplinas e a presença de estudantes com deficiência (PCDs) nas turmas, evidenciando como a gestão desses elementos foi estruturada durante este período.

3.2.1 Janela de Horários

A universidade opera em três turnos distintos: matutino, vespertino e noturno, distribuídos ao longo de 16 horários durante os dias da semana. O calendário acadêmico estabelece os dias letivos de segunda a sexta-feira, sendo que alguns cursos incluem o sábado em suas atividades letivas. No entanto, o curso central deste estudo, Ciência da Computação, é caracterizado por um turno integrado, abrangendo tanto o período vespertino quanto o noturno. Suas aulas são concentradas de segunda a sexta-feira, apresentando uma configuração compartilhada com muitos outros cursos da instituição.

Os horários referem-se aos períodos de início e fim de cada aula e estão distribuídos conforme a Figura 4.

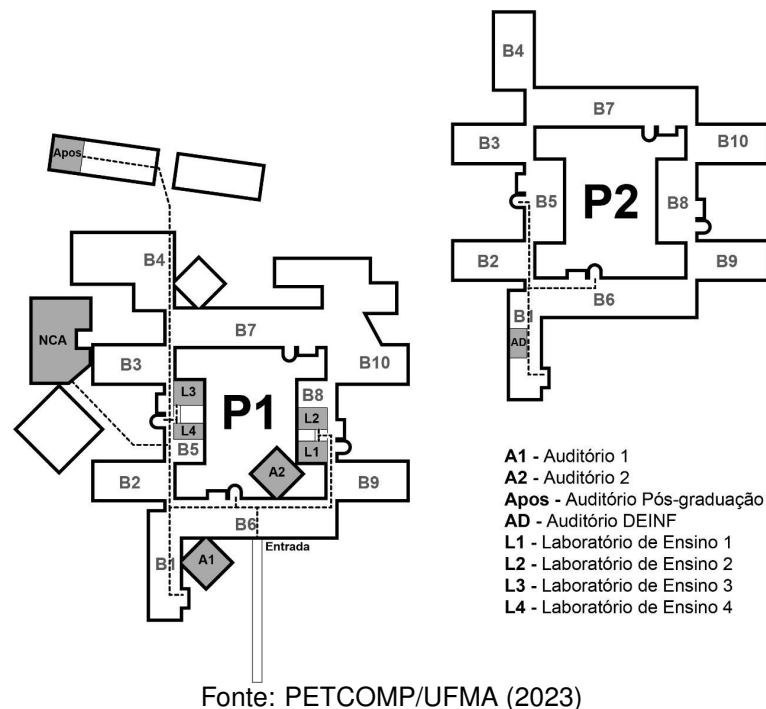
Figura 4: Grade Horária do Curso de Ciência da Computação

HORÁRIO DA TURMA						
GRADE DE HORÁRIOS						
Expressão do Horário:	DOM	SEG	TER	QUA	QUI	SAB
07:30 - 08:20	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
08:20 - 09:10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
09:20 - 10:10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10:10 - 11:00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11:10 - 12:00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12:00 - 12:50	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13:10 - 14:00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14:00 - 14:50	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
14:50 - 15:40	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
15:50 - 16:40	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
16:40 - 17:30	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
17:40 - 18:30	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
18:30 - 19:20	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
19:30 - 20:20	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
20:20 - 21:10	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
21:10 - 22:00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Fonte: Autor

3.2.2 Salas

O CCET é estruturado em três pisos, um térreo e dois andares, organizados em blocos. Cada bloco abriga um conjunto de salas e laboratórios, conforme ilustrado na Figura 5.

Figura 5: Mapa do CCET

Fonte: PETCOMP/UFMA (2023)

O Departamento de Informática (DEINF) tem à sua disposição um conjunto específico de salas, conforme detalhado na Tabela 4. No caso de necessidade

e disponibilidade, as turmas não contempladas podem ser alocadas no Centro Pedagógico Paulo Freire.

Tabela 4: Levantamento de Salas DEINF-CCET

Bloco	Sala	Capacidade
01	100	35
01	199	15
01	200	35
06	306	25
06	317	60
07	101	40
07	102	40
07	103	35
07	104	35
07	105	30
07	106	30
07	107	30
07	108	35
07	204	25
07	208	25
09	101	45
09	102	35
09	103	30
09	104	45

Fonte: CCET (2023)

Os dados essenciais para este estudo foram fornecidos pelo CCET, por meio do Chefe do Departamento de Informática (DEINF), seguindo o padrão exemplificado na Figura 6. Todos os dados completos estão disponíveis na Tabela 10 (Anexo A).

Figura 6: Padrão Planilha das Salas Alocadas

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Solicitação de Salas de Aula para o Período 2023.1								
2									
3	Curso:	CIÊNCIAS DA COMPUTAÇÃO							
4	Coordenador:	ANTÔNIO DE ABREU BATISTA JUNIOR							
5									
6	Listagem de Disciplinas								
7									
8	Período (1o, 2o, ...)	Código da Disciplina	Nome da Disciplina	Departamento/Curso:	Número da Turma	Horário das Aulas Teóricas	Quantidade de Alunos Matriculados	SALAS	Nome do Professor
9	2º	DEMA0342	Álgebra Linear I	DEMAT	1	35T45	56	P. FREIRE NORTE - 304	Valeska Martins de Souza
10	1º	DEIN0076	Algoritmos I	DEINF	1	2T23	56	CCET LAB 3 P. FREIRE	Carlos de Salles Soares Neto

Fonte: DEINF/CCET (2023)

3.2.3 Disciplinas

Conforme mencionado anteriormente neste trabalho, as disciplinas escolhidas para o estudo de caso são aquelas oferecidas ao curso de Ciência da Computação durante o período letivo de 2023.1. Os dados referentes a essas disciplinas, assim como as informações sobre as salas de aula correspondentes, foram fornecidos pelo Departamento de Informática (DEINF), com 58 disciplinas, totalizando 70 entradas, considerando que uma turma alocada em mais de uma sala gera uma entrada adicional, conforme detalhado na Tabela 10 (Anexo A).

3.2.4 Pessoas com Deficiências

Para enfatizar a questão da acessibilidade, foi obtida uma lista detalhada que registra a presença de pessoas com deficiência nas turmas das disciplinas oferecidas no período de 2023.1 para o curso de Ciência da Computação. Essa lista foi gentilmente fornecida pela Superintendência de Tecnologia da Informação da Universidade. Cada entrada na lista contém informações sobre a disciplina específica e indica se há a participação de algum aluno com deficiência. A estrutura desses dados segue o padrão apresentado na Figura 7, e para uma análise aprofundada, os dados completos podem ser consultados na Tabela 11 (Anexo B).

Figura 7: Padrão Planilha das Pessoas com Necessidades

	A	B	C	D	E	F
1	Componente	Turma	Visual	Física	Necessidade Especial	
2	DECC0076	1	FALSO	FALSO	FALSO	
3	DECC0077	1	FALSO	FALSO	FALSO	
4	DFFF0220	1	FALSO	FALSO	FALSO	

Fonte: STI/UFMA (2023)

3.3 Considerações Finais

Neste capítulo, exploramos o estudo de caso do problema de alocação, analisando suas nuances, desafios e considerações específicas, especialmente no contexto da UFMA. Aprofundamos nossa compreensão dos requisitos e complexidades associadas à alocação de salas, destacando a importância da acessibilidade para Pessoas com Deficiência (PCDs). No próximo capítulo, daremos um passo adiante ao apresentar a modelagem matemática desenvolvida para abordar esse desafio. Através dessa modelagem, buscamos não apenas compreender a complexidade do problema, mas também fornecer uma estrutura sólida para a otimização da alocação de salas, considerando diversos fatores como horários, professores e requisitos específicos de acessibilidade.

MODELAGEM DO PROBLEMA

Neste capítulo, nossa meta é proporcionar uma definição dos limites do trabalho, sendo esse escopo o que orientará a criação do modelo matemático. Iremos detalhar o alcance e as restrições para esse estudo, em seguida, a elaboração do modelo matemático que combina conceitos matemáticos e especificações contidas no escopo, garantindo uma representação precisa do problema de otimização da alocação de salas.

4.1 Escopo do PAS no Trabalho

Conforme mencionado anteriormente, o Problema de Alocação de Salas (PAS) possui diversas variações, sendo que cada local impõe restrições e objetivos específicos. Este trabalho, como já destacado, tem como referência o período de 2023.1, durante o qual foram oferecidas ao curso de Computação 59 turmas, resultando em 33 alocações diferentes. Essas alocações abrangem salas, laboratórios, salas temporárias e turmas sem sala, conforme detalhado na Tabela 10 (Anexo A).

O processo de alocação de salas segue um fluxo resumido, onde o departamento responsável realiza a pré-oferta da turma, estabelecendo a relação Disciplina-Docente-Horário. Em seguida, o Centro, munido das informações das turmas, procede com a alocação, cruzando esses dados com o conjunto de salas priorizadas para determinados cursos. Finalmente, o departamento recebe a alocação e oferta aos alunos dos respectivos cursos.

Dado que o processo de alocação mantém as salas atribuídas a um conjunto fixo de turmas (Disciplina-Horário-Professor), o problema abordado assemelha-se significativamente ao cerne do PAS, com a inclusão de uma abordagem à acessibilidade durante a realização dessas alocações.

Seguindo o cerne do PAS, orientando-nos pelos trabalhos relacionados e pela especificidade do problema na realidade, identificamos os requisitos fundamentais a serem atendidos na alocação das turmas às salas:

1. Cada disciplina é ministrada por um número de vezes previsto no horizonte de planejamento.
2. Duas disciplinas distintas não podem ser alocadas na mesma sala, no mesmo dia e horário.
3. Cada disciplina não será atribuída a salas diferentes no mesmo horário.
4. Disciplinas que demandam laboratórios específicos devem ser alocadas em seus respectivos locais designados.

4.2 Modelo Matemático

Dado o contexto mencionado anteriormente, buscamos agora traduzir os requisitos e nuances do PAS em uma formulação matemática precisa e eficiente, com o intuito de desenvolver uma estrutura que possibilite a alocação ideal de turmas em salas. Para isso, serão definidos os conjuntos de dados e informações que alimentaram o modelo, chamados de parâmetros, as variáveis que representam as escolhas, as restrições que limitam e condicionam as variáveis e a função objetivo com a definição dos objetivos do modelo.

4.2.1 Parâmetros

- D : Conjunto de disciplinas.
- T : Conjunto de horários.
- S : Conjunto de salas.
- $C_{jk} \in \{0,1\}$: Parâmetro recebe valor 1 se a disciplina j pode ser lecionada na sala k , e 0 caso contrário.
 - Seja por capacidade ou requisitos mínimos de infra-estrutura.

- $PCD_d \in \{0,1\}$: Indica se a disciplina d possui (1) ou não (0) uma pessoa com deficiência matriculada nela.
- $Andar_s \in \mathbb{Z}$: Indica o andar da sala utilizada (1,2,3...).

4.2.2 Variáveis de Decisão

- X_{dts} : Variável binária que indica se a disciplina d é alocada na sala s no horário t .
- Y_s : Variável binária que indica se a sala s será utilizada.

4.2.3 Restrições

$$\sum_{t \in T} \sum_{s \in S} X_{dts} = 2 \quad \forall d \in D \quad (4.1)$$

As restrições (4.1) garantem que cada disciplina é lecionada exatamente o número de vezes no horizonte de planejamento (por ex. 2 vezes em uma semana de 5 dias).

$$\sum_{d \in D} X_{dts} \leq 1 \quad \forall t \in T, \forall s \in S \quad (4.2)$$

As restrições (4.2) garantem que duas disciplinas não são lecionadas na mesma sala de aula, dia e horário.

$$\sum_{s \in S} X_{dts} \leq 1 \quad \forall d \in D, \forall t \in T \quad (4.3)$$

Restrições (4.3) garantem a elegibilidade das aulas, isto é, garantem que uma disciplina não seja atribuída a salas diferentes no mesmo horário.

$$X_{dts} \leq Y_s \quad \forall d \in D, \forall t \in T, \forall s \in S \quad (4.4)$$

O conjunto de restrições (4.4) estabelecem que se uma disciplina é atribuída a uma sala s e horário t , então a sala s deve ser utilizada. Essa restrição é essencial para a minimização do número de salas utilizadas na função objetivo.

4.2.4 Função Objetivo

$$F.O. \quad \min \quad (1 - \alpha) \sum_{s \in S} Y_s \quad + \quad \alpha \times \sum_{d \in D} \sum_{t \in T} \sum_{s \in S} X_{dts} \times Andar_s \times PCD_d \quad (4.5)$$

A função objetivo (FO) deste modelo de otimização busca a minimização de dois objetivos. O primeiro está associada ao número de salas utilizadas e o segundo envolve uma penalidade aplicada nos casos em que há pessoas com deficiência (PCD) na disciplina d e a sala não está no térreo ($andar=0$). Essa penalidade aumenta proporcionalmente ao andar da sala, sendo mais severa quanto mais alto. Em outras palavras, a função busca a alocação das salas com o menor número de salas e o menor número de turmas com PCDs em andares diferentes do térreo.

A função objetivo é complementada por um coeficiente de ponderação, representado por α , que possibilita a flexibilidade na priorização dos objetivos. A correlação é expressa pelo ajuste de α : valores mais próximos de 0 enfatizam a minimização do número total de salas, enquanto valores mais próximos de 1 priorizam a alocação de disciplinas com PCD em salas térreas.

4.3 Considerações Finais

Neste capítulo, apresentamos a modelagem matemática desenvolvida para abordar o desafio complexo da alocação de salas. Cada variável e restrição foram cuidadosamente consideradas, buscando criar uma representação precisa e eficiente do problema. No próximo capítulo, abordaremos os procedimentos metodológicos que orientaram a implementação prática desse modelo. Detalharemos como a teoria foi traduzida em uma solução computacional, destacando a interseção crucial entre o plano conceitual e a aplicação concreta.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos metodológicos adotados nesta pesquisa são fundamentais para conduzir a resolução eficaz do Problema de Alocação de Salas (PAS), abordando de forma sistemática desde a coleta até a implementação da solução. Esta seção detalha as etapas metodológicas cruciais para o desenvolvimento do estudo.

5.1 Coleta de Dados

O ponto de partida reside na coleta de dados, uma fase fundamental para compreender o ambiente e as variáveis que moldam o PAS. As informações necessárias incluem detalhes sobre turmas, salas, horários, professores e, especialmente, a presença de alunos com deficiência. Essa coleta, realizada em cooperação com o Departamento de Informática, visou capturar a dinâmica real do processo de alocação, incorporando nuances específicas do contexto universitário.

A coleta ocorreu por meio de uma solicitação direta ao DEINF, que fez a intermediação junto ao CCET. Obtivemos como dados a Tabela 10 (Anexo A) com a alocação das salas e a Tabela 4 com as salas pré-alocadas à computação. A Tabela 11 (Anexo B) com a lista de presença de Pessoa com Deficiência (PCD) foi fornecido pelo STI solicitando a presença de PCDs nas turmas da Tabela 10.

5.2 Processamento dos Dados

A etapa subsequente à coleta de dados se trata da transformação dessas informações em conjuntos de dados estruturados proporciona a base para a implementação da formulação matemática. Neste sentido, serão gerados três conjuntos fundamentais: um relacionado aos horários disponíveis, outro associado às disciplinas ofertadas e, por fim, um terceiro referente às salas de aula.

Cada conjunto desempenha um papel determinante na configuração do modelo de PLI, contribuindo para a construção de uma representação fiel e detalhada do PAS enfrentado pela instituição. O processo de transformação destes dados críticos viabiliza a análise e otimização eficiente na alocação, considerando as particularidades e demandas específicas do ambiente universitário.

5.2.1 Conjunto de Horários

O conjunto de dados referente aos horários disponíveis foi derivado do conjunto inicial que descreve os horários ocupados pelas disciplinas do curso de Ciência da Computação, conforme representado na Figura 4. Para simplificar e facilitar o tratamento dos dados, optou-se por uma abordagem que unifica os dois horários normalmente ocupados por cada disciplina. Isso resultou na criação de conjuntos sequenciais designados como T1, T2, T3, e assim sucessivamente, ver Tabela 5. Essa sequência não apenas simplifica a representação dos horários ocupados, mas também assegura que, em um mesmo dia, as aulas de uma disciplina ocorram sempre na mesma sala.

Tabela 5: Conjunto de Horários

CodName	Horários	Dia
T1	14:00 - 15:40	Segunda
T2	15:50 - 17:30	Segunda
T3	17:40 - 19:20	Segunda
T4	19:30 - 21:10	Segunda
T5	21:10 - 22:00	Segunda
T6	14:00 - 15:40	Terça
T7	15:50 - 17:30	Terça
T8	17:40 - 19:20	Terça
T9	19:30 - 21:10	Terça
T10	21:10 - 22:00	Terça
T11	14:00 - 15:40	Quarta
T12	15:50 - 17:30	Quarta
T13	17:40 - 19:20	Quarta
T14	19:30 - 21:10	Quarta
T15	21:10 - 22:00	Quarta
T16	14:00 - 15:40	Quinta
T17	15:50 - 17:30	Quinta
T18	17:40 - 19:20	Quinta
T19	19:30 - 21:10	Quinta
T20	21:10 - 22:00	Quinta
T21	14:00 - 15:40	Sexta

CodName	Horários	Dia
T22	15:50 - 17:30	Sexta
T23	17:40 - 19:20	Sexta
T24	19:30 - 21:10	Sexta
T25	21:10 - 22:00	Sexta

Fonte: Autor

5.2.2 Conjunto de Salas

O conjunto de dados referente às salas foi derivado da combinação de duas fontes principais: o conjunto inicial que descreve as salas fornecido na Tabela 4 pelo Centro, e os dados específicos de alocação fornecidos pelo Departamento, conforme detalhado na Tabela 10 (Anexo A).

Esses dados combinados resultaram em um conjunto codificado sequencialmente como S1, S2, e assim por diante, para cada sala disponível. Essa codificação não apenas simplifica a representação, mas também mantém a consistência com a abordagem adotada para os horários.

O conjunto de dados final sobre as salas agora inclui não apenas a capacidade de cada sala, mas também informações adicionais relevantes, como se é um laboratório, o andar em que está localizado, o prédio correspondente e o número da sala. Esses detalhes adicionais são cruciais para a formulação do modelo de alocação, considerando a diversidade de requisitos que as disciplinas podem ter. Esses dados estão disponíveis detalhadamente para referência na 6.

Tabela 6: Conjunto de Salas

CodName	Capacidade	Laboratório	Andar	Bloco	Sala	Predio
S1	35	FALSE	0	1	100	CCET
S2	50	FALSE	0	7	101	CCET
S3	45	FALSE	0	9	101	CCET
S4	50	FALSE	0	7	102	CCET
S5	35	FALSE	0	9	102	CCET
S6	35	FALSE	0	7	103	CCET
S7	30	FALSE	0	9	103	CCET
S8	40	FALSE	0	7	104	CCET
S9	45	FALSE	0	9	104	CCET
S10	30	FALSE	0	7	105	CCET
S11	30	FALSE	0	7	106	CCET

CodName	Capacidade	Laboratório	Andar	Bloco	Sala	Predio
S12	35	FALSE	0	7	107	CCET
S13	35	FALSE	0	7	108	CCET
S14	15	FALSE	1	1	199	CCET
S15	35	FALSE	1	1	200	CCET
S16	25	FALSE	1	7	204	CCET
S17	30	FALSE	1	7	208	CCET
S18	25	FALSE	2	6	306	CCET
S19	60	FALSE	2	6	317	CCET
S20	30	TRUE	0	8	LI 1	CCET
S21	25	TRUE	0	8	LI 2	CCET
S22	56	TRUE	0	5	LI 3	CCET
S23	25	TRUE	0	5	LI 4	CCET
S24	60	FALSE	1	Norte	107	PF
S25	60	FALSE	2	Norte	201	PF
S26	60	FALSE	2	Norte	202	PF
S27	60	FALSE	2	Norte	205	PF
S28	60	FALSE	3	Norte	303	PF
S29	60	FALSE	3	Norte	304	PF

Fonte: Autor

5.2.3 Conjunto de Disciplinas

O conjunto de dados das disciplinas foi construído integrando diversas fontes para a compreensão abrangente das necessidades e características de cada disciplina oferecida durante o período de 2023.1. A coleta foi feita a partir do conjunto de dados de alocação, Tabela 10 (Anexo A), que especifica como as disciplinas estão distribuídas nas salas e nos horários.

Além disso, as informações sobre a presença de PCDs nas turmas foram incorporadas ao conjunto por meio da Tabela 11 (Anexo B). Essa tabela detalha quais disciplinas têm alunos com deficiência e quais tipos de deficiência estão presentes.

Os horários das disciplinas foram obtidos a partir do conjunto de horários processados, indicado na Tabela 5. Esses horários foram ajustados para facilitar a modelagem.

Para simplificar a representação e manter uma consistência na abordagem de codificação sequencial, cada disciplina agora é identificada com um código único, como D1, D2, etc. Esse código, além de facilitar o entendimento, permite uma integração eficiente no modelo de alocação. As informações agregadas incluem a quantidade de alunos, a necessidade de laboratório, a presença de alunos com

deficiência, o professor responsável e os horários específicos de cada disciplina, conforme a Tabela 7.

Tabela 7: Conjunto de Disciplinas

CodName	Laboratorio	PCD	CodHorario	Alunos	Horario	Periodo	Codigo	Nome	Turma	Professor
D1	FALSE	FALSE	T7-T17	56	35T45	2	DEMA0342	Álgebra Linear I	1	Valeska Martins de Souza
D2	TRUE	TRUE	T1	56	2T23	1	DEIN0076	Algoritmos I	1	Carlos de Salles Soares Neto
D3	FALSE	TRUE	T11	56	4T23	1	DEIN0076	Algoritmos I	1	Carlos de Salles Soares Neto
D4	FALSE	FALSE	T2	25	2T45	7	DEIN0093	Algoritmos II	1	Carlos de Salles Soares Neto
D5	TRUE	FALSE	T12	25	4T45	7	DEIN0093	Algoritmos II	1	Carlos de Salles Soares Neto
D6	FALSE	FALSE	T3-T4-T13-T14	60	24N12	3	DSOC0055	Antropologia	1	Rodrigo Theophilo Folhes
D7	FALSE	FALSE	T3-T13	40	24T6N1	3	DEIN0079	Arquitetura de Computadores	1A	Antonio de Abreu Batista Júnior
D8	FALSE	FALSE	T2-T12	30	24T45	5	DEIN0115	Banco de Dados I	1	Simara Vieira da Rocha
D9	TRUE	FALSE	T1-T11	20	24T23	7	DEIN0185	Banco de Dados II	1	Carlos Eduardo Portela Serra de Castro
D10	FALSE	TRUE	T6-T17-T21	60	36T23 5T45	1	DEMA0339	Cálculo I	1	IVALDO COSTA MUNIZ
D11	FALSE	FALSE	T3-T13-T18	56	245T6N1	2	DEMA0341	Cálculo II	1	Italo Augusto oliveira de Albuquerque
D12	FALSE	FALSE	T4-T14	50	24N23	3	DEMA0338	Cálculo III	1	Gustavo Silvestre do Amaral Costa
D13	FALSE	TRUE	T7-T17	40	35T45	6	DEIN0117	Cálculo Numérico	1	Carlos Antônio Vanderley Gonçalves
D14	FALSE	TRUE	T2-T12	60	24T45	1	DEMA0340	Cálculo Vetorial e geo. Analítica	1	Adecarlos Costa Carvalho
D15	FALSE	FALSE	T7-T17	40	35T45	5	DEEE0220	Circuitos Digitais I	1	Francisco Paulo Roberto Sampaio Alves
D16	FALSE	FALSE	T6-T16	35	35T23	5	DEIN0086	Compiladores	1	Ivo José da Cunha Serra
D17	FALSE	FALSE	T8-T9-T18-T19	35	35N12	8	DEIN0110	Computação e Sociedade	1	Carlos Eduardo Portela Serra de Castro
D18	FALSE	FALSE	T1	25	2T23	7	DEIN0120	Computação Gráfica	1	Darlan Bruno Pontes Quintanilha
D19	TRUE	FALSE	T11	25	4T23	7	DEIN0120	Computação Gráfica	1	Darlan Bruno Pontes Quintanilha
D20	FALSE	FALSE	T8-T18	30	35T6N1	8	DECC0076	Contabilidade Geral	1	NEIMAR SOUSA PINTO PEREIRA
D21	FALSE	FALSE	T3-T13	20	24T6N1	7	DEIN0099	Engenharia de Requisitos	1	Carlos Eduardo Portela Serra de Castro
D22	FALSE	FALSE	T8-T18	40	35T6N1	4	DEIN0226	Engenharia de Software	1	Luis Jorge Henrique Rivero Cabrejos
D23	FALSE	FALSE	T8-T18	50	35T6N1	6	DEMA0344	Equações Diferenciais I	1	Gerard John Alva Morales
D24	FALSE	FALSE	T2-T12	50	24T45	3	DEIN0080	Estrutura de Dados I	1A	Anselmo Cardoso de paiva
D25	FALSE	FALSE	T2-T12	45	24T45	4	DEIN0083	Estrutura de Dados II	1A	João Dallyson Sousa de Almeida
D26	FALSE	TRUE	T3-T13	60	24T6N1	1	DFIL0315	Ética e Cidadania	1	Marcos Antônio Macedo Munis
D27	FALSE	FALSE	T22-T23	50	6T56N1	8	DFIL0048	Filosofia (LE)	2	Marcelo Magno Correa Antunes
D28	FALSE	FALSE	T1-T11	56	24T23	2	DEFI0254	Física I	1	RAISA MARYA CORREA SOUZA DINIZ
D29	FALSE	FALSE	T7-T17	40	35T45	3	DEFI0255	Física III	1	HUMBERTO FILOMENO DA SILVA FILHO
D30	FALSE	FALSE	T6-T16	30	35T23	6	DEIN0231	Gerência de Projeto de Software	1	Simara Vieira da Rocha
D31	FALSE	FALSE	T3-T13	30	24T6N1	7	DEIN0101	Hipermidia	1	Carlos de Salles Soares Neto
D32	FALSE	FALSE	T6-T16	35	35T23	6	DEIN0118	Inteligência Artificial	1	Tiago Bonini Borchart
D33	FALSE	FALSE	T9-T19	30	35N23	7	DEIN0102	Interface Humano-Computador	1	Luis Jorge Henrique Rivero Cabrejos
D34	FALSE	FALSE	T23-T24	60	6T6N123	8	DECC0077	Introdução à Administração	1	RENAN BALTAZAR DOS SANTOS
D35	TRUE	TRUE	T7-T8	56	3T456	1	DEIN0075	Introdução à Computação	1	Carlos Eduardo Portela Serra de Castro
D36	FALSE	FALSE	T1-T11	30	24T23	5	DEIN0232	Introdução à Criptografia	1	Antonio de Abreu Batista Júnior
D37	TRUE	FALSE	T7-T17	20	35T45	7	DEIN0233	Introdução à Mineração de Dados	1	Ivo José da Cunha Serra
D38	TRUE	FALSE	T1-T11	30	24T23	7	DEIN0103	Laborat. de Engenharia de Software	1	Geraldo Braz Júnior
D39	TRUE	FALSE	T22	14	6T45	5	DEEE0221	Laboratório de Circuitos Digitais I	1	Francisco Paulo Roberto Sampaio Alves
D40	TRUE	FALSE	T21	14	6T23	5	DEEE0221	Laboratório de Circuitos Digitais I	2	Francisco Paulo Roberto Sampaio Alves
D41	TRUE	FALSE	T2-T12	20	24T45	7	DEIN0237	Laboratório de Programação	1	Geraldo Braz Júnior
D42	TRUE	FALSE	T6	20	3T23	6	DEIN0236	Laboratorio de Redes de Computadores	1	Samir Beliche Vale
D43	FALSE	FALSE	T16	20	5T23	6	DEIN0236	Laboratorio de Redes de Computadores	1	Samir Beliche Vale
D44	TRUE	FALSE	T9-T10-T19-T20	30	35N34	7	DEIN0238	Laboratório de Software Básico	1	Adauto de Sousa Lima Neto
D45	TRUE	FALSE	T2-T12	50	24T45	2	DEIN0030	Linguagem de Programação I	1A	Francisco Glaubos Nunes Climaco
D46	FALSE	FALSE	T1	50	2T23	3	DEIN0225	Linguagem de Programação II	1	Tiago Bonini Borchart
D47	TRUE	FALSE	T11	50	4T23	3	DEIN0225	Linguagem de Programação II	1	Tiago Bonini Borchart
D48	FALSE	FALSE	T1-T11	40	24T23	4	DEIN0082	Linguagem Formais e Autômatos	1	Ivo José da Cunha Serra
D49	FALSE	FALSE	T6-T16	50	35T23	2	DEIN0078	Matemática Discreta e Lógica	1	Luciano Reis Coutinho
D50	FALSE	FALSE	T8-T18	20	35T6N1	7	DEIN0239	Metodologia da Pesquisa em CC	1	Ivo José da Cunha Serra
D51	TRUE	FALSE	T7-T17	30	35T45	7	DEIN0119	Pesquisa Operacional	1	Francisco Glaubos Nunes Climaco
D52	FALSE	FALSE	T13-T14-T18-T19	30	45N12	8	EECP0033	Princ. e Aplicações de Robótica	1	Paulo Rogério de Almeida Ribeiro
D53	FALSE	FALSE	T7	30	3T45	7	DEIN0104	Processamento de Imagens	1	Aristofanes Correa Silva
D54	TRUE	FALSE	T17	30	5T45	7	DEIN0104	Processamento de Imagens	1	Aristofanes Correa Silva
D55	FALSE	FALSE	T1-T11	30	24T23	5	DEIN0087	Processo de Des. de Softwares	1	Simara Vieira da Rocha
D56	FALSE	FALSE	T7-T17	30	35T45	7	DEIN0240	Qualidade de Software	1	Samir Beliche Vale
D57	TRUE	FALSE	T21-T22	35	6T2345	4	DEIN0088	Redes de Computadores I	1	Samir Beliche Vale
D58	TRUE	FALSE	T7-T17	30	35T45	7	DEIN0106	Redes de Computadores II	1	Mario Antonio Meireles Teixeira
D59	TRUE	FALSE	T2-T12	30	24T45	7	DEIN0242	Sist. de Informações Geográficas	1	Darlan Bruno Pontes Quintanilha
D60	TRUE	FALSE	T7-T17	30	35T45	7	DEIN0107	Sistemas Distribuídos	1	Francisco José da Silva e Silva
D61	FALSE	FALSE	T1-T11	25	24T23	7	DEIN0108	Sistemas Inteligentes	1	João Dallyson Sousa de Almeida
D62	FALSE	FALSE	T6-T16	35	35T23	4	DEIN0114	Sistemas Operacionais I	1	Francisco José da Silva e Silva

CodName	Laboratorio	PCD	CodHorario	Alunos	Horario	Periodo	Codigo	Nome	Turma	Professor
D63	FALSE	FALSE	T21-T22	56	6T2345	3	DSOC0313	Sociologia	2	Elio de Jesus Pantoja Alves
D64	FALSE	FALSE	T1-T11	45	24T23	6	DEIN0085	Teoria da computação	1	Luciano Reis Coutinho

Fonte: Autor

5.3 Implementação da Resolução

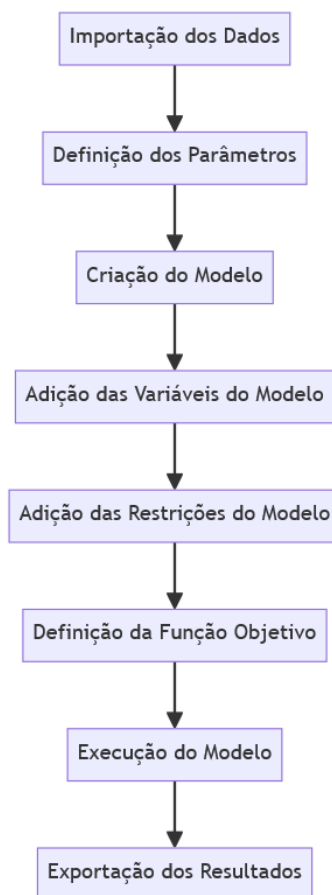
Para a implementação eficaz do modelo proposto neste trabalho, optou-se por utilizar o Solver Gurobi (10.0.1) como a engine de otimização, juntamente com a linguagem de programação Python (3.8) e as ferramentas Jupyter-notebook (6.5.4) e PyCharm (2023.2.1 Community Edition) como ambientes de desenvolvimento integrado (IDE).

O Solver Gurobi foi escolhido devido à sua eficiência e desempenho em problemas de Programação Linear Inteira (PLI), comuns em situações de alocação e otimização. O Gurobi é reconhecido por sua capacidade de lidar com problemas complexos e de grande escala, garantindo soluções precisas e eficientes.

A escolha da linguagem Python é respaldada pela sua popularidade e flexibilidade. Python é uma linguagem de programação de alto nível, que permite uma implementação clara e concisa do modelo matemático, facilitando a expressão da lógica de otimização. Além disso, Python possui uma rica variedade de bibliotecas especializadas em otimização, como o Gurobi API, facilitando a integração e a comunicação com o Solver.

O uso de ambientes Jupyter-notebook e PyCharm complementam a escolha de Python. O Jupyter-notebook oferece uma interface interativa, ideal para a exploração e visualização de dados, enquanto o PyCharm fornece um ambiente robusto e completo para o desenvolvimento, teste e depuração de código Python. A combinação destas ferramentas permite uma abordagem iterativa e eficiente ao longo do processo de desenvolvimento.

Desenvolver uma solução computacional para a otimização da alocação de salas universitárias requer um processo estruturado e passos bem definidos. Abaixo, apresentamos uma visão geral do fluxo de desenvolvimento dessa solução, Figura 8, desde a importação dos dados até a exportação dos resultados.

Figura 8: Fluxograma de Desenvolvimento

Fonte: Autor

5.3.1 Importação dos Dados

A etapa crucial de importação de dados é o ponto de partida para o desenvolvimento da solução de alocação de salas. Nesta fase, os conjuntos de dados previamente processados referentes a horários, salas e disciplinas são incorporados ao ambiente de desenvolvimento. Esses conjuntos estão estruturados no formato CSV (Comma-Separated Values), que foi escolhido por ter uma representação tabular simples onde cada linha do arquivo corresponde a uma linha da tabela e os valores são separados por vírgulas. Essa simplicidade facilita a leitura e escrita tanto para humanos quanto para máquinas. Além disso, sua leveza e ampla compatibilidade com diversas ferramentas e linguagens de programação o tornam uma escolha eficaz para a troca de dados entre sistemas.

A leitura dos arquivos CSV é realizada de maneira similar para os conjuntos de horários, salas e disciplinas, variando apenas o conjunto de entrada. Um exemplo do código utilizado, conforme Código 5.1:

Código 5.1: Código de Importação dos Horários

```
1 filename_times = open('./Input/Horarios.csv', encoding="utf8")
```

Fonte: Autor

5.3.2 Definição dos Parâmetros

A etapa de Definição dos Parâmetros é crucial para transformar os conjuntos de dados brutos importados em informações relevantes para o modelo proposto. Durante essa fase, diversos parâmetros são derivados e estruturados a partir dos dados importados. Os principais elementos processados nesta etapa serão os parâmetros definidos no modelo matemático.

A seguir a parte do código, Código 5.2, para geração do conjunto D, que para os conjuntos T e S altera apenas os campos, contém também a geração do conjunto C que utiliza os conjuntos D e S verificando a capacidade com a quantidade de alunos e a exigência de laboratório com o tipo de sala.

Código 5.2: Código de Criação dos Conjunto D e Conjunto C

```
1 Disciplines = []
2 for col in file_disciplines:
3     d = []
4     d.append(col['CodName'])
5     d.append(col['Laboratorio'] == 'TRUE')
6     d.append(col['PCD'] == 'TRUE')
7     d.append(col['CodHorario'].split("-"))
8     d.append(int(col['Alunos']))
9     d.append(col['Horario'])
10    d.append(col['Codigo'])
11    d.append(col['Nome'])
12    d.append(col['Professor'])
13    Disciplines.append(d)
14 C = []
15 i = 0
16 for d in Disciplines:
17    C.append([])
18    for r in Rooms:
19        if check_room(r, d):
20            C[i].append(1)
21        else:
```

```
22         C[i].append(0)
23     i += 1
24 print(C)
```

Fonte: Autor

5.3.3 Criação do Modelo

Utilizando o Solver Gurobi e a linguagem Python, desenvolvemos um modelo de Programação Linear Inteira (PLI) para representar o problema de alocação de salas. A criação do modelo Gurobi envolve a instanciação do modelo com o nome da aplicação e a configuração da licença do solver, conforme Código 5.3.

Código 5.3: Código de Criação do Modelo

```
1 model = gp.Model("Problema Alocação Salas")
2 #Academic license - for non-commercial use only - expires 2024-09-30
```

Fonte: Autor

5.3.4 Adição das Variáveis do Modelo

As variáveis do modelo são adicionadas, representando as decisões a serem tomadas pelo Solver durante a otimização. As variáveis são as definidas no modelo matemático que são definidas se utilizando dos dicionários definidos o Y de salas ocupadas e “disponibilidade” que é gerado a partir do DTS, conforme Código 5.4.

Código 5.4: Código de Criação das Variáveis do Modelo

```
1 x = model.addVars(disponibilidade, ub = 1, name = "x", vtype=GRB.BINARY)
2 y = model.addVars(Y, ub = 1, name = "y", vtype=GRB.BINARY)
```

Fonte: Autor

Além das variáveis, dicionários foram configurados para armazenar as informações essenciais, proporcionando uma estrutura eficiente para manipulação durante a execução do modelo. Nessa etapa, abstraímos para os dicionários apenas as informações dos conjuntos de parâmetros necessários para a execução do modelo. Adicionalmente, é gerado o dicionário de disponibilidade (DTS), que contém as combinações válidas de disciplinas (D), horários (T) e salas (S), conforme o Código 5.5.

Código 5.5: Código de Criação do Dicionário de Salas

```
1 S = {}
2 for s in Rooms:
3     S[s[0]] = s[1]
4 DTS = []
5 i = 0
6 for d in Disciplines:
7     j = 0
8     for r in Rooms:
9         if C[i][j] == 1:
10            for t in d[3]:
11                DTS.append((d[0],t,r[0]))
12            j += 1
13    i += 1
```

Fonte: Autor

5.3.5 Adição das Restrições do Modelo

Restrições são incorporadas para refletir as condições e limitações do problema, garantindo uma solução realista e viável, sendo implementadas seguindo o modelo matemático, conforme Código 5.6.

Código 5.6: Código de Criação das Restrições do Modelo

```
1 res1 = model
2     .addConstrs(x.sum(d, '*', '*') == ocupacao[d] for d in disciplinas)
3 res2 = model
4     .addConstrs(x.sum('*', t, s) <= 1 for d, t, s in disponibilidade)
5 res3 = model
6     .addConstrs(x.sum(d, t, '*') <= 1 for d, t, s in disponibilidade)
7 res4 = model
8     .addConstrs(x[d , t, s] <= y[s] for d, t, s in disponibilidade)
```

Fonte: Autor

5.3.6 Definição da Função Objetivo

A função objetivo é formulada para que o Solver busque a solução que minimize o número de salas utilizadas, considerando também penalidades relacionadas à presença de alunos com deficiência. Ela foi implementada seguindo a formulação

matemática, orientada a multi-objetivos, com 'a' sendo o α da Função Objetivo (FO), conforme Código 5.7.

Código 5.7: Código de Criação da Função Objetivo do Modelo

```
1 obj1 = gp.quicksum(y[s] for s in Y)
2 wgh1 = (1 - a)
3 obj2 = gp.quicksum(x[d,t,s] * andar[s] * pcd[d] for d, t, s in disponibilidade)
4 wgh2 = a
5 model.setObjectiveN(obj1, 0, 0, wgh1)
6 model.setObjectiveN(obj2, 1, 0, wgh2)
7 model.ModelSense = GRB.MINIMIZE
```

Fonte: Autor

5.3.7 Execução do Modelo e Exportação dos Resultados

O modelo é executado usando o Solver Gurobi, que busca a solução ótima nas condições e restrições especificadas. Assim, após definido as variáveis e função objetivo, a execução consiste na chamada ao método de execução do modelo provido pela API. Os resultados da otimização são exportados para análise posterior e visualização, fornecendo apoio para a gestão da alocação de salas.

5.4 Considerações Finais

Neste capítulo, detalhamos os procedimentos metodológicos que nortearam a implementação prática do modelo de alocação de salas desenvolvido. Desde a escolha das ferramentas computacionais até a configuração específica dos parâmetros, cada passo planejado para garantir uma execução eficaz e robusta. No próximo capítulo, avançaremos para a apresentação e análise dos resultados obtidos com a aplicação desse modelo. Examinaremos como as soluções propostas se traduziram na prática, avaliando sua eficiência em lidar com os desafios reais da alocação de salas, especialmente no contexto da promoção da acessibilidade e inclusão.

EXPERIMENTOS COMPUTACIONAIS

Este capítulo destina-se à exposição e avaliação dos resultados obtidos por meio da execução do modelo desenvolvido para o problema de alocação de salas do Departamento de Informática do CCET/UFMA. A implementação do modelo, empregando o Solver Gurobi e a linguagem de programação Python, ofereceu uma visão abrangente das dinâmicas de alocação, considerando diferentes variáveis e restrições inerentes ao contexto universitário.

Os testes foram conduzidos em uma máquina com processador AMD Ryzen 5 5700X (8 núcleos e 16 *threads*, 3.4GHz até 4.6GHz), 32 GB de memória RAM, operando sob o sistema operacional Windows 11 de 64 bits. Para os testes, utilizou-se a instância real fornecida pelo DEINF, conforme detalhado no Capítulo 5.

Durante a execução do modelo, foi identificado um desafio relacionado à alocação das disciplinas no conjunto de salas destinadas ao curso de Ciência da Computação. O número limitado de laboratórios disponíveis revelou-se insuficiente para acomodar todas as disciplinas que requeriam aulas nos mesmos horários específicos.

Na prática, a solução manual desse problema poderia ser adaptada, permitindo aos tomadores de decisão, alocar algumas disciplinas em laboratórios de pesquisa. Esses laboratórios, que não estão disponíveis para alocação, poderiam ser acessados por intermédio do professor responsável pela disciplina, facilitando a alocação em um laboratório vinculado ao núcleo de pesquisa ao qual o professor é afiliado. Entretanto, no contexto computacional, realizar esses ajustes torna-se uma tarefa complexa.

Para contornar esse desafio, duas abordagens foram consideradas: relaxamento, permitindo valores diferentes de 0 e 1, da restrição de duas disciplinas não são lecionadas na mesma sala de aula, dia e horário (Equação 4.2), enquanto a segunda consistia em alterar os conjuntos de entrada de salas ou disciplinas. A primeira opção foi descartada, pois o relaxamento da restrição comprometeria a integridade do modelo proposto, visto que é impraticável duas disciplinas na mesma sala e horário.

Por isso, ajustamos as salas porque é mais adequada para o problema.

Para viabilizar essa mudança, foi necessário incluir duas salas do tipo laboratório, adicionadas em andares mais altos para priorizar a alocação aos laboratórios reais. Esse ajuste prático reflete a demanda real por mais laboratórios para atender a todas as disciplinas do curso.

Após o ajuste dos dados, o modelo tornou-se executável, possibilitando a obtenção das soluções apresentadas na Tabela 8. As soluções exploram variações no coeficiente de ponderação α de 0 a 1, em incrementos de 0,05, esse coeficiente é responsável pela priorização entre os objetivos, definido conforme o modelo matemático. Além do α , temos o valor da função objetivo (F.O.), combinação dos objetivos ponderados sendo o alvo da minimização. Temos também os valores dos objetivos separados, sendo OBJ1 o número de salas e OBJ2 a penalização da atribuição de PCDs a andares diferentes do térreo. Os OBJ1W e OBJ2W são os objetivo aplicados ao coeficiente de ponderação conforme a FO, também são armazenados o tempo de execução do modelo, o número de iterações Simplex e o número de soluções viáveis encontradas durante o processo.

Tabela 8: Resultados Computacionais

α	FO	OBJ1	OBJ2	OBJ1W	OBJ2W	Tempo de CPU(s)	Iterações	Soluções
0.0	13.0	13.0	23.0	13.0	0.0	0.03	598	3
0.05	12.75	13.0	8.0	12.35	0.4	0.03	627	3
0.1	12.50	13.0	8.0	11.70	0.8	0.03	616	3
0.15	12.25	13.0	8.0	11.05	1.2	0.03	616	3
0.2	12.0	13.0	8.0	10.4	1.6	0.03	499	3
0.25	11.75	13.0	8.0	9.75	2.0	0.03	556	3
0.3	11.5	13.0	8.0	9.1	2.4	0.03	563	3
0.35	11.25	13.0	8.0	8.45	2.8	0.03	608	3
0.4	11.0	13.0	8.0	7.8	3.2	0.03	608	3
0.45	10.75	13.0	8.0	7.15	3.6	0.03	608	3
0.5	10.5	13.0	8.0	6.5	4.0	0.03	608	3
0.55	10.25	13.0	8.0	5.85	4.4	0.03	494	3
0.6	10.0	13.0	8.0	5.2	4.8	0.03	494	3
0.65	9.75	13.0	8.0	4.55	5.2	0.03	494	3
0.7	9.5	13.0	8.0	3.9	5.6	0.03	494	3
0.75	9.25	13.0	8.0	3.25	6.0	0.03	494	3
0.8	9.0	13.0	8.0	2.6	6.4	0.03	494	3
0.85	8.75	13.0	8.0	1.95	6.8	0.02	494	3
0.9	8.5	13.0	8.0	1.3	7.2	0.03	494	3
0.95	8.25	13.0	8.0	0.65	7.6	0.03	494	3
1.0	8.0	30.0	8.0	0.0	8.0	0.03	0	2

Ao analisarmos os resultados computacionais, notamos que o tempo médio de execução foi notavelmente baixo, aproximadamente 0,03 segundos. Este

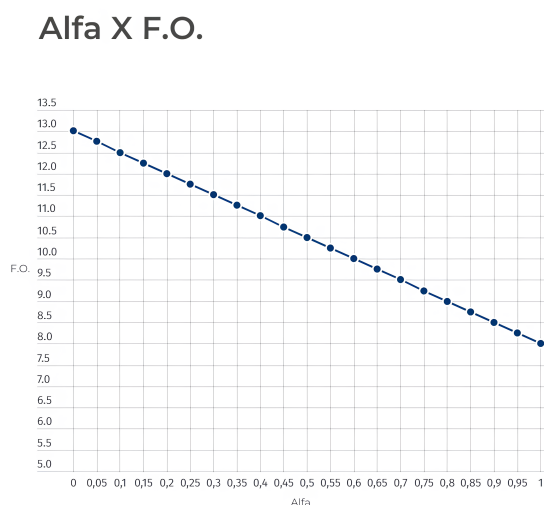
desempenho é ainda mais notável considerando a complexidade do problema e nos dá bastante folga para escalonar o estudo de caso.

Durante a otimização, foram realizadas em média 522 iterações simplex, uma iteração envolve a identificação de uma solução viável básica seguida pela melhoria dessa solução ao longo das arestas do espaço viável. Nesse processo foram encontradas, em média, 3 soluções que atendem aos critérios estabelecidos. Essas soluções são pontos no espaço de busca que atendem todas as restrições, sendo a última solução aquela com o melhor valor para a função objetivo. Esse método iterativo permite explorar e aperfeiçoar as soluções para resultados mais satisfatórios.

A função objetivo desempenha um papel vital nesse contexto. Seu intervalo, definido de 8 a 13, destaca a natureza multiobjetivo da otimização. O primeiro objetivo, relacionado ao número de salas, atinge o valor 13 para todos os valores de α diferentes de 1. Notavelmente, quando α é igual a 1, esse objetivo atinge seu máximo 30, estabelecendo uma clara transição no foco da otimização.

O segundo objetivo, que lida com a condição de penalidade da atribuição de PCD (Pessoas com Deficiência) aos andares, manifesta-se em um intervalo de 8 a 23. No extremo superior desse intervalo, com α igual a 0, a questão de acessibilidade é desconsiderada, refletindo a busca pela minimização do número de salas. À medida que α aumenta, ocorre uma transição. O valor atinge 8, representando um foco máximo na acessibilidade. Essa natureza da FO pode ser melhor visualizada no gráfico abaixo, conforme a Figura 9.

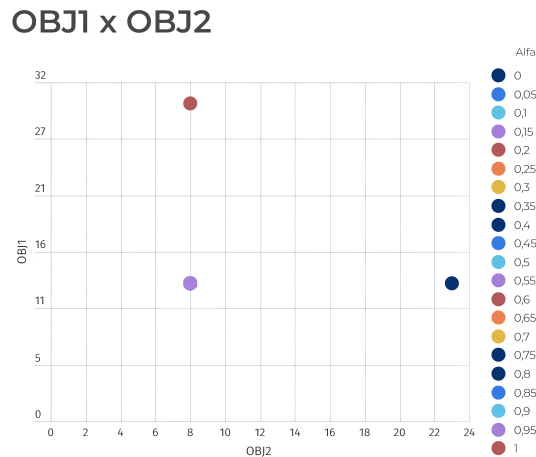
Figura 9: Gráfico Alfa x F.O.



Fonte: Autor

Portanto, três marcos distintos emergem nessa análise. O primeiro, com α igual a 0, o segundo, com $0 < \alpha < 1$, destaca uma fase de equilíbrio e o terceiro, com α igual a 1. Esses marcos podem ser visualizados no gráfico a seguir, Figura 10.

Figura 10: Gráfico OBJ1 x OBJ2



Fonte: Autor

Tendo como base a relação de dominância entre duas soluções em um contexto de otimização multicritério, como ocorre na Fronteira de Pareto, a capacidade de uma solução A domina B se A for pelo menos tão boa quanto B em todos os critérios (objetivos) considerados, sem ser inferior em nenhum deles. Assim, uma solução A domina B se A for pelo menos tão boa quanto B em todos os critérios e estritamente melhor em pelo menos um critério.

Ao mapear os valores dos objetivos ao longo da Fronteira de Pareto, os dados mostram que, para o intervalo $0 < \alpha < 1$, os resultados dominam aqueles associados a $\alpha = 0$ e $\alpha = 1$. Os pares de valores de objetivos (OBJ1, OBJ2) variam entre (13, 8), contrastando com (13, 23) para $\alpha = 0$ e (30, 8) para $\alpha = 1$. Esse fenômeno indica uma superioridade consistente nas soluções quando há uma ponderação variável entre os objetivos.

O conjunto de soluções no intervalo $0 < \alpha < 1$ emerge como dominante, destacando sua maior relevância do ponto de vista da otimização. Esse resultado é particularmente notável, considerando que, nas extremidades ($\alpha = 0$ ou $\alpha = 1$), um dos objetivos acaba sendo descartado, enquanto o intervalo intermediário permite uma exploração equilibrada.

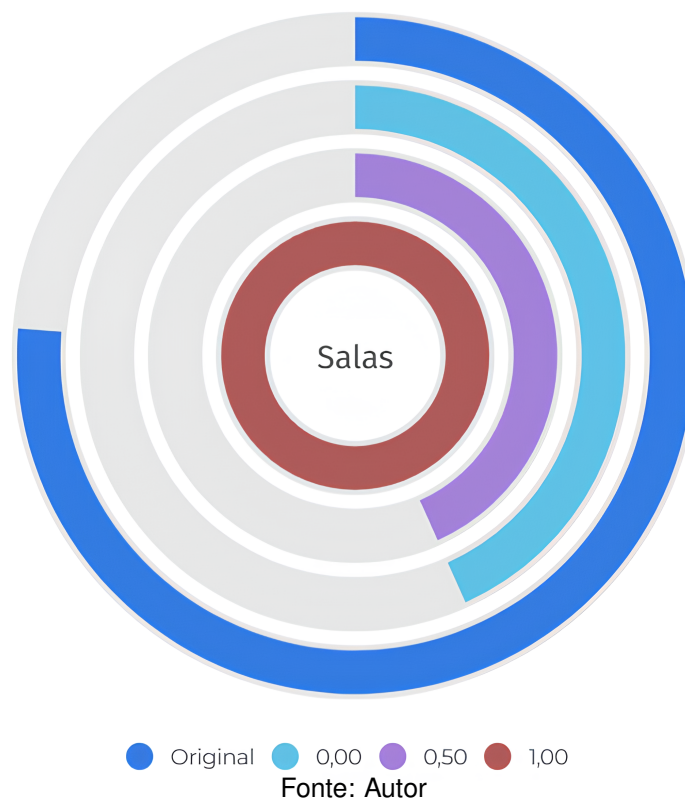
Neste contexto, escolhemos $\alpha = 0,5$ para as demais análises, pois ele reside

no intervalo de soluções dominantes, como mostrado na Figura 10. Dentro desse intervalo, as soluções convergem para um ponto comum, esta execução torna-se um alvo, ao representar um ponto intermediário no espectro de ponderação entre os objetivos.

A avaliação do atendimento do objetivo de minimizar o número de salas ocupadas fornece visões sobre a eficácia da alocação. O gráfico radial, conforme mostrado na Figura 11, oferece uma representação visual dessa análise.

Figura 11: Gráfico da Utilização das Salas

Utilização de Salas

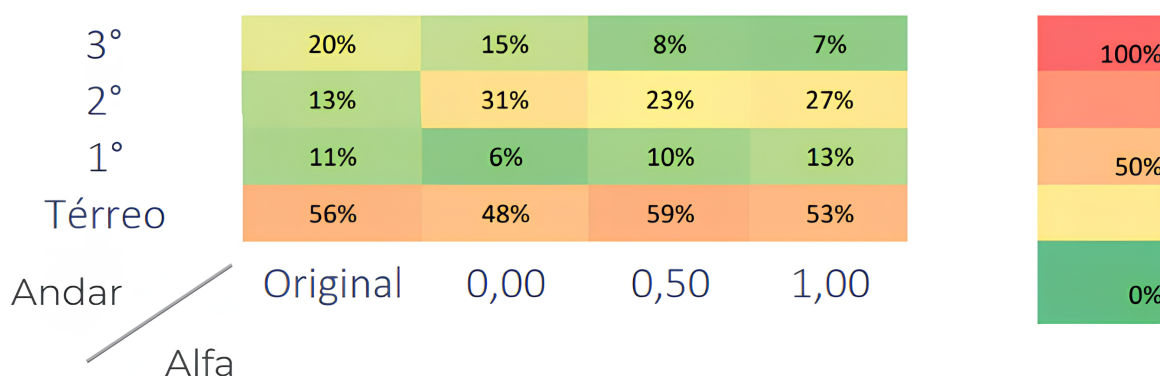


Inicialmente, na alocação manual, ocupavam-se 23 salas, representando cerca de 74% das 31 disponíveis. No cenário de $\alpha = 0,5$, há uma redução para 13 salas, equivalente à alocação com $\alpha = 0$, quando o foco principal é a minimização. Isso destaca a eficácia desse coeficiente na redução do número de salas utilizadas. No extremo oposto, para $\alpha = 1$, onde a minimização de salas é ignorada, esse número atinge quase sua totalidade, ocupando 30 salas. Isso reforça a importância de encontrar um equilíbrio, onde a minimização é alcançada sem comprometer o atendimento dos demais critérios.

Em relação à acessibilidade, a análise da distribuição da alocação de salas nos diferentes andares é fundamental para compreender a eficiência do processo. O mapa de calor apresentado na Figura 12 destaca a ocupação dos andares tanto na alocação original, realizada manualmente, quanto nas soluções geradas pelo modelo. Nele cada célula representa a proporção de disciplinas alocadas em um determinado andar, proporcionando uma visualização das variações entre as diferentes abordagens.

Figura 12: Mapa de Calor dos Andares

Mapa de Calor dos Andares



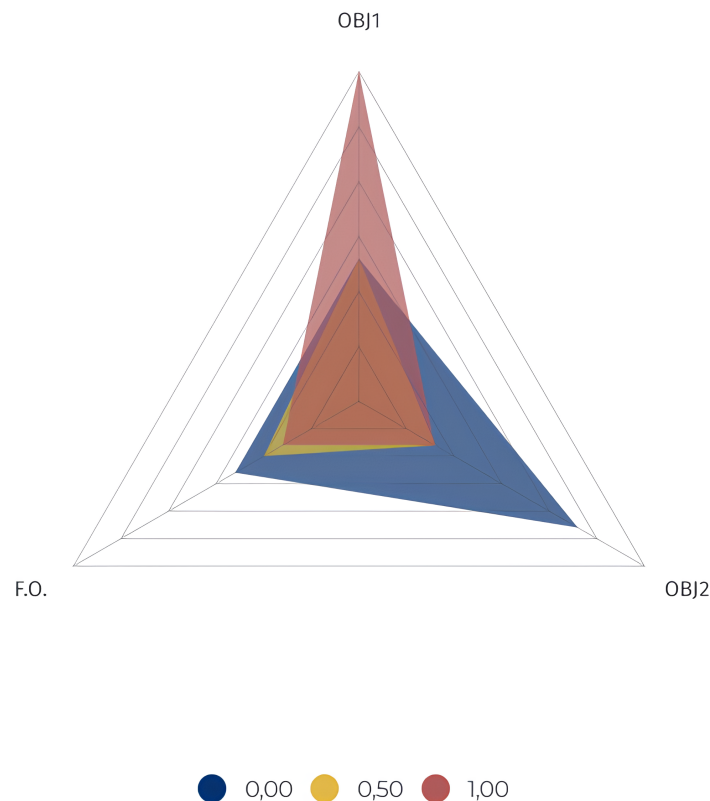
Ao observar o mapa de calor, evidencia-se a melhoria significativa do ponto $\alpha = 0,5$ em relação à alocação original, destacando um aumento de 3% na alocação de salas no térreo e uma redução de 12% nas salas alocadas no 3° andar. Importante notar que os pontos extremos, $\alpha = 0$ e $\alpha = 1$, não apresentam melhorias em relação à alocação original. Pelo contrário, revelam uma redução na taxa de ocupação do térreo. Isso destaca a importância do equilíbrio proporcionado pelo $\alpha = 0,5$ na busca por uma alocação otimizada.

A análise geral do desempenho do modelo de alocação de salas pode ser visualizada através do gráfico de radar dos objetivos (Figura 13).

O gráfico de radar, ao ser configurado para uma minimização eficaz, é estruturado de modo que quanto mais próximo da origem e semelhante a um polígono equilátero, mais eficiente é a solução no atendimento a todos os objetivos. Dessa forma, a escolha de $\alpha = 0,5$ é estratégica, ao representar um compromisso eficaz que equilibra

Figura 13: Gráfico Radar dos Objetivos

Radar dos Objetivos



Fonte: Autor

a minimização dos objetivos.

Em resumo, essa análise computacional oferece uma visão profunda da dinâmica da otimização multiobjetivo para o problema de alocação das salas abordado neste trabalho, destacando eficácia e eficiência na busca por soluções que atendam a critérios complexos e variáveis.

O resultado da alocação proveniente de uma das execuções, especificamente para o caso em que $0 < \alpha < 1$, mais precisamente com $\alpha = 0,5$, será apresentado na Tabela 9.

Tabela 9: Resultado da Alocação para $\alpha = 0.5$

Código	Disciplina	Professor	Dia	Horário	Sala	Andar	Bloco	Prédio
DEMA0342	Álgebra Linear I	Valeska Martins de Souza	Terça	15:50 - 17:30	317	2	6	CCET

Código	Disciplina	Professor	Dia	Horário	Sala	Andar	Bloco	Prédio
DEMA0342	Álgebra Linear I	Valeska Martins de Souza	Quinta	15:50 - 17:30	317	2	6	CCET
DEIN0076	Algoritmos I	Carlos de Salles Soares Neto	Segunda	14:00 - 15:40	LI 3	0	5	CCET
DEIN0076	Algoritmos I	Carlos de Salles Soares Neto	Quarta	14:00 - 15:40	107	1	Norte	PF
DEIN0093	Algoritmos II	Carlos de Salles Soares Neto	Segunda	15:50 - 17:30	100	0	1	CCET
DEIN0093	Algoritmos II	Carlos de Salles Soares Neto	Quarta	15:50 - 17:30	LI 2	0	8	CCET
DSOC0055	Antropologia	Rodrigo Theophilo Folhes	Segunda	19:30 - 21:10	317	2	6	CCET
DSOC0055	Antropologia	Rodrigo Theophilo Folhes	Quarta	19:30 - 21:10	317	2	6	CCET
DSOC0055	Antropologia	Rodrigo Theophilo Folhes	Segunda	17:40 - 19:20	304	3	Norte	PF
DSOC0055	Antropologia	Rodrigo Theophilo Folhes	Quarta	17:40 - 19:20	304	3	Norte	PF
DEIN0079	Arquitetura de Computadores	Antonio de Abreu Batista Júnior	Segunda	17:40 - 19:20	101	0	7	CCET
DEIN0079	Arquitetura de Computadores	Antonio de Abreu Batista Júnior	Quarta	17:40 - 19:20	101	0	7	CCET
DEIN0115	Banco de Dados I	Simara Vieira da Rocha	Quarta	15:50 - 17:30	100	0	1	CCET
DEIN0115	Banco de Dados I	Simara Vieira da Rocha	Segunda	15:50 - 17:30	104	0	9	CCET
DEIN0185	Banco de Dados II	Carlos Eduardo Portela Serra de Castro	Quarta	14:00 - 15:40	LI 1	0	8	CCET
DEIN0185	Banco de Dados II	Carlos Eduardo Portela Serra de Castro	Segunda	14:00 - 15:40	LI 5 [NEW]	2	8	CCET
DEMA0339	Cálculo I	NIVALDO COSTA MUNIZ	Terça	14:00 - 15:40	107	1	Norte	PF
DEMA0339	Cálculo I	NIVALDO COSTA MUNIZ	Quinta	15:50 - 17:30	107	1	Norte	PF
DEMA0339	Cálculo I	NIVALDO COSTA MUNIZ	Sexta	14:00 - 15:40	107	1	Norte	PF
DEMA0341	Cálculo II	Italo Augusto oliveira de Albuquerque	Segunda	17:40 - 19:20	317	2	6	CCET
DEMA0341	Cálculo II	Italo Augusto oliveira de Albuquerque	Quarta	17:40 - 19:20	317	2	6	CCET
DEMA0341	Cálculo II	Italo Augusto oliveira de Albuquerque	Quinta	17:40 - 19:20	317	2	6	CCET
DEMA0338	Cálculo III	Gustavo Silvestre do Amaral Costa	Segunda	19:30 - 21:10	101	0	7	CCET
DEMA0338	Cálculo III	Gustavo Silvestre do Amaral Costa	Quarta	19:30 - 21:10	101	0	7	CCET
DEIN0117	Cálculo Numérico	Carlos Antônio Vanderley Gonçalves	Terça	15:50 - 17:30	101	0	7	CCET
DEIN0117	Cálculo Numérico	Carlos Antônio Vanderley Gonçalves	Quinta	15:50 - 17:30	101	0	7	CCET
DEMA0340	Cálculo Vetorial e geo. Analítica	Adecarlos Costa Carvalho	Segunda	15:50 - 17:30	107	1	Norte	PF
DEMA0340	Cálculo Vetorial e geo. Analítica	Adecarlos Costa Carvalho	Quarta	15:50 - 17:30	107	1	Norte	PF
DEEE0220	Circuitos Digitais I	Francisco Paulo Roberto Sampaio Alves	Terça	15:50 - 17:30	102	0	7	CCET
DEEE0220	Circuitos Digitais I	Francisco Paulo Roberto Sampaio Alves	Quinta	15:50 - 17:30	104	0	9	CCET
DEIN0086	Compiladores	Ivo José da Cunha Serra	Quinta	14:00 - 15:40	107	1	Norte	PF
DEIN0086	Compiladores	Ivo José da Cunha Serra	Terça	14:00 - 15:40	304	3	Norte	PF
DEIN0110	Computação e Sociedade	Carlos Eduardo Portela Serra de Castro	Terça	17:40 - 19:20	100	0	1	CCET
DEIN0110	Computação e Sociedade	Carlos Eduardo Portela Serra de Castro	Terça	19:30 - 21:10	100	0	1	CCET
DEIN0110	Computação e Sociedade	Carlos Eduardo Portela Serra de Castro	Quinta	17:40 - 19:20	100	0	1	CCET
DEIN0110	Computação e Sociedade	Carlos Eduardo Portela Serra de Castro	Quinta	19:30 - 21:10	317	2	6	CCET
DEIN0120	Computação Gráfica	Darlan Bruno Pontes Quintanilha	Segunda	14:00 - 15:40	102	0	7	CCET
DEIN0120	Computação Gráfica	Darlan Bruno Pontes Quintanilha	Quarta	14:00 - 15:40	LI 2	0	8	CCET
DECC0076	Contabilidade Geral	NEIMAR SOUSA PINTO PEREIRA	Quinta	17:40 - 19:20	108	0	7	CCET
DECC0076	Contabilidade Geral	NEIMAR SOUSA PINTO PEREIRA	Terça	17:40 - 19:20	317	2	6	CCET
DEIN0099	Engenharia de Requisitos	Carlos Eduardo Portela Serra de Castro	Segunda	17:40 - 19:20	100	0	1	CCET
DEIN0099	Engenharia de Requisitos	Carlos Eduardo Portela Serra de Castro	Quarta	17:40 - 19:20	108	0	7	CCET
DEIN0226	Engenharia de Software	Luis Jorge Henrique Rivero Cabrejos	Terça	17:40 - 19:20	104	0	9	CCET
DEIN0226	Engenharia de Software	Luis Jorge Henrique Rivero Cabrejos	Quinta	17:40 - 19:20	107	1	Norte	PF
DEMA0344	Equações Diferenciais I	Gerard John Alva Morales	Terça	17:40 - 19:20	101	0	7	CCET
DEMA0344	Equações Diferenciais I	Gerard John Alva Morales	Quinta	17:40 - 19:20	101	0	7	CCET
DEIN0080	Estrutura de Dados I	Anselmo Cardoso de paiva	Segunda	15:50 - 17:30	317	2	6	CCET
DEIN0080	Estrutura de Dados I	Anselmo Cardoso de paiva	Quarta	15:50 - 17:30	304	3	Norte	PF
DEIN0083	Estrutura de Dados II	João Dallyson Sousa de Almeida	Segunda	15:50 - 17:30	101	0	7	CCET
DEIN0083	Estrutura de Dados II	João Dallyson Sousa de Almeida	Quarta	15:50 - 17:30	101	0	7	CCET
DFIL0315	Ética e Cidadania	Marcos Antônio Macedo Munis	Segunda	17:40 - 19:20	107	1	Norte	PF
DFIL0315	Ética e Cidadania	Marcos Antônio Macedo Munis	Quarta	17:40 - 19:20	107	1	Norte	PF
DFIL0048	Filosofia (LE)	Marcelo Magno Correa Antunes	Sexta	15:50 - 17:30	101	0	7	CCET
DFIL0048	Filosofia (LE)	Marcelo Magno Correa Antunes	Sexta	17:40 - 19:20	101	0	7	CCET
DEFI0254	Física I	RAISA MARYA CORREA SOUZA DINIZ	Segunda	14:00 - 15:40	317	2	6	CCET
DEFI0254	Física I	RAISA MARYA CORREA SOUZA DINIZ	Quarta	14:00 - 15:40	317	2	6	CCET
DEFI0255	Física III	HUMBERTO FILOMENO DA SILVA FILHO	Quinta	15:50 - 17:30	102	0	7	CCET

Código	Disciplina	Professor	Dia	Horário	Sala	Andar	Bloco	Prédio
DEFI0255	Física III	HUMBERTO FILOMENO DA SILVA FILHO	Terça	15:50 - 17:30	104	0	9	CCET
DEIN0231	Gerência de Projeto de Software	Simara Vieira da Rocha	Terça	14:00 - 15:40	100	0	1	CCET
DEIN0231	Gerência de Projeto de Software	Simara Vieira da Rocha	Quinta	14:00 - 15:40	100	0	1	CCET
DEIN0101	Hipermídia	Carlos de Salles Soares Neto	Segunda	17:40 - 19:20	102	0	7	CCET
DEIN0101	Hipermídia	Carlos de Salles Soares Neto	Quarta	17:40 - 19:20	102	0	7	CCET
DEIN0118	Inteligência Artificial	Tiago Bonini Borchardt	Terça	14:00 - 15:40	108	0	7	CCET
DEIN0118	Inteligência Artificial	Tiago Bonini Borchardt	Quinta	14:00 - 15:40	317	2	6	CCET
DEIN0102	Interface Humano-Computador	Luis Jorge Henrique Rivero Cabrejos	Quinta	19:30 - 21:10	100	0	1	CCET
DEIN0102	Interface Humano-Computador	Luis Jorge Henrique Rivero Cabrejos	Terça	19:30 - 21:10	101	0	7	CCET
DECC0077	Introdução à Administração	RENAN BALTAZAR DOS SANTOS	Sexta	17:40 - 19:20	317	2	6	CCET
DECC0077	Introdução à Administração	RENAN BALTAZAR DOS SANTOS	Sexta	19:30 - 21:10	317	2	6	CCET
DEIN0075	Introdução à Computação	Carlos Eduardo Portela Serra de Castro	Terça	15:50 - 17:30	LI 3	0	5	CCET
DEIN0075	Introdução à Computação	Carlos Eduardo Portela Serra de Castro	Terça	17:40 - 19:20	LI 3	0	5	CCET
DEIN0232	Introdução à Criptografia	Antonio de Abreu Batista Júnior	Quarta	14:00 - 15:40	104	0	9	CCET
DEIN0232	Introdução à Criptografia	Antonio de Abreu Batista Júnior	Segunda	14:00 - 15:40	108	0	7	CCET
DEIN0233	Introdução à Mineração de Dados	Ivo José da Cunha Serra	Terça	15:50 - 17:30	LI 2	0	8	CCET
DEIN0233	Introdução à Mineração de Dados	Ivo José da Cunha Serra	Quinta	15:50 - 17:30	LI 2	0	8	CCET
DEIN0103	Laborat. de Engenharia de Software	Geraldo Braz Júnior	Segunda	14:00 - 15:40	LI 6 [NEW]	2	5	CCET
DEIN0103	Laborat. de Engenharia de Software	Geraldo Braz Júnior	Quarta	14:00 - 15:40	LI 6 [NEW]	2	5	CCET
DEEE0221	Laboratório de Circuitos Digitais I	Francisco Paulo Roberto Sampaio Alves	Sexta	15:50 - 17:30	LI 1	0	8	CCET
DEEE0221	Laboratório de Circuitos Digitais I	Francisco Paulo Roberto Sampaio Alves	Sexta	14:00 - 15:40	LI 3	0	5	CCET
DEIN0237	Laboratório de Programação	Geraldo Braz Júnior	Segunda	15:50 - 17:30	LI 6 [NEW]	2	5	CCET
DEIN0237	Laboratório de Programação	Geraldo Braz Júnior	Quarta	15:50 - 17:30	LI 6 [NEW]	2	5	CCET
DEIN0236	Laboratorio de Redes de Computadores	Samir Beliche Vale	Terça	14:00 - 15:40	LI 5 [NEW]	2	8	CCET
DEIN0236	Laboratorio de Redes de Computadores	Samir Beliche Vale	Quinta	14:00 - 15:40	104	0	9	CCET
DEIN0238	Laboratório de Software Básico	Adauto de Sousa Lima Neto	Terça	19:30 - 21:10	LI 1	0	8	CCET
DEIN0238	Laboratório de Software Básico	Adauto de Sousa Lima Neto	Terça	21:10 - 22:00	LI 3	0	5	CCET
DEIN0238	Laboratório de Software Básico	Adauto de Sousa Lima Neto	Quinta	21:10 - 22:00	LI 3	0	5	CCET
DEIN0238	Laboratório de Software Básico	Adauto de Sousa Lima Neto	Quinta	19:30 - 21:10	LI 5 [NEW]	2	8	CCET
DEIN0030	Linguagem de Programação I	Francisco Glaubos Nunes Climaco	Segunda	15:50 - 17:30	LI 3	0	5	CCET
DEIN0030	Linguagem de Programação I	Francisco Glaubos Nunes Climaco	Quarta	15:50 - 17:30	LI 3	0	5	CCET
DEIN0225	Linguagem de Programação II	Tiago Bonini Borchardt	Segunda	14:00 - 15:40	101	0	7	CCET
DEIN0225	Linguagem de Programação II	Tiago Bonini Borchardt	Quarta	14:00 - 15:40	LI 3	0	5	CCET
DEIN0082	Linguagem Formais e Autômatos	Ivo José da Cunha Serra	Segunda	14:00 - 15:40	304	3	Norte	PF
DEIN0082	Linguagem Formais e Autômatos	Ivo José da Cunha Serra	Quarta	14:00 - 15:40	304	3	Norte	PF
DEIN0078	Matemática Discreta e Lógica	Luciano Reis Coutinho	Terça	14:00 - 15:40	101	0	7	CCET
DEIN0078	Matemática Discreta e Lógica	Luciano Reis Coutinho	Quinta	14:00 - 15:40	101	0	7	CCET
DEIN0239	Metodologia da Pesquisa em CC	Ivo José da Cunha Serra	Terça	17:40 - 19:20	107	1	Norte	PF
DEIN0239	Metodologia da Pesquisa em CC	Ivo José da Cunha Serra	Quinta	17:40 - 19:20	304	3	Norte	PF
DEIN0119	Pesquisa Operacional	Francisco Glaubos Nunes Climaco	Quinta	15:50 - 17:30	LI 1	0	8	CCET
DEIN0119	Pesquisa Operacional	Francisco Glaubos Nunes Climaco	Terça	15:50 - 17:30	LI 6 [NEW]	2	5	CCET
EECP0033	Princ. e Aplicações de Robótica	Paulo Rogerio de Almeida Ribeiro	Quarta	17:40 - 19:20	100	0	1	CCET
EECP0033	Princ. e Aplicações de Robótica	Paulo Rogerio de Almeida Ribeiro	Quarta	19:30 - 21:10	102	0	7	CCET
EECP0033	Princ. e Aplicações de Robótica	Paulo Rogerio de Almeida Ribeiro	Quinta	17:40 - 19:20	104	0	9	CCET
EECP0033	Princ. e Aplicações de Robótica	Paulo Rogerio de Almeida Ribeiro	Quinta	19:30 - 21:10	304	3	Norte	PF
DEIN0104	Processamento de Imagens	Aristofanes Correa Silva	Terça	15:50 - 17:30	108	0	7	CCET
DEIN0104	Processamento de Imagens	Aristofanes Correa Silva	Quinta	15:50 - 17:30	LI 5 [NEW]	2	8	CCET
DEIN0087	Processo de Des. de Softwares	Simara Vieira da Rocha	Segunda	14:00 - 15:40	100	0	1	CCET
DEIN0087	Processo de Des. de Softwares	Simara Vieira da Rocha	Quarta	14:00 - 15:40	100	0	1	CCET
DEIN0240	Qualidade de Software	Samir Beliche Vale	Terça	15:50 - 17:30	100	0	1	CCET
DEIN0240	Qualidade de Software	Samir Beliche Vale	Quinta	15:50 - 17:30	100	0	1	CCET
DEIN0088	Redes de Computadores I	Samir Beliche Vale	Sexta	14:00 - 15:40	LI 5 [NEW]	2	8	CCET
DEIN0088	Redes de Computadores I	Samir Beliche Vale	Sexta	15:50 - 17:30	LI 5 [NEW]	2	8	CCET
DEIN0106	Redes de Computadores II	Mario Antonio Meireles Teixeira	Terça	15:50 - 17:30	LI 1	0	8	CCET
DEIN0106	Redes de Computadores II	Mario Antonio Meireles Teixeira	Quinta	15:50 - 17:30	LI 3	0	5	CCET
DEIN0242	Sist. de Informações Geográficas	Darlan Bruno Pontes Quintanilha	Segunda	15:50 - 17:30	LI 1	0	8	CCET

Código	Disciplina	Professor	Dia	Horário	Sala	Andar	Bloco	Prédio
DEIN0242	Sist. de Informações Geográficas	Darlan Bruno Pontes Quintanilha	Quarta	15:50 - 17:30	LI 1	0	8	CCET
DEIN0107	Sistemas Distribuídos	Francisco José da Silva e Silva	Terça	15:50 - 17:30	LI 5 [NEW]	2	8	CCET
DEIN0107	Sistemas Distribuídos	Francisco José da Silva e Silva	Quinta	15:50 - 17:30	LI 6 [NEW]	2	5	CCET
DEIN0108	Sistemas Inteligentes	João Dallyson Sousa de Almeida	Segunda	14:00 - 15:40	104	0	9	CCET
DEIN0108	Sistemas Inteligentes	João Dallyson Sousa de Almeida	Quarta	14:00 - 15:40	108	0	7	CCET
DEIN0114	Sistemas Operacionais I	Francisco José da Silva e Silva	Terça	14:00 - 15:40	102	0	7	CCET
DEIN0114	Sistemas Operacionais I	Francisco José da Silva e Silva	Quinta	14:00 - 15:40	304	3	Norte	PF
DSOC0313	Sociologia	Elio de Jesus Pantoja Alves	Sexta	15:50 - 17:30	317	2	6	CCET
DSOC0313	Sociologia	Elio de Jesus Pantoja Alves	Sexta	14:00 - 15:40	304	3	Norte	PF
DEIN0085	Teoria da computação	Luciano Reis Coutinho	Quarta	14:00 - 15:40	101	0	7	CCET
DEIN0085	Teoria da computação	Luciano Reis Coutinho	Segunda	14:00 - 15:40	107	1	Norte	PF

Fonte: Autor

6.1 Considerações Finais

Este capítulo marcou a fase em que apresentamos e analisamos os resultados decorrentes da implementação do modelo de alocação de salas. Cada métrica, cada padrão identificado e cada conclusão alcançada contribuem para uma compreensão da eficácia do modelo em lidar com os desafios específicos do problema em questão. No capítulo subsequente, encerraremos este trabalho com a conclusão, onde consolidaremos as principais descobertas, destacaremos as contribuições significativas e delinearemos possíveis direções para trabalhos futuros.

CONCLUSÕES

Neste trabalho, abordou-se o desafio de otimização da alocação de salas na Universidade Federal do Maranhão, concentrando-se especificamente no Departamento de Informática. Por meio da coleta e processamento de dados reais, formulação matemática minuciosa e implementação computacional utilizando técnicas de Programação Linear Inteira (PLI) e Python, o estudo conseguiu não apenas fornecer uma solução viável para o problema específico, mas também contribuir para a área de pesquisa operacional.

Os resultados obtidos destacaram a importância da ponderação entre múltiplos objetivos, como a minimização do uso de salas e a maximização da acessibilidade, em um contexto onde tais fatores são frequentemente conflitantes. O coeficiente de ponderação α surgiu como um elemento chave, permitindo um equilíbrio efetivo e dinâmico entre esses objetivos. Esta pesquisa não apenas resolveu um problema prático e aprimorou a distribuição de salas feitas atualmente pela UFMA, mas também forneceu *insights* valiosos para a gestão eficiente de recursos em ambientes acadêmicos.

Entretanto, algumas limitações foram identificadas durante a criação e implementação do modelo. O modelo prevê apenas um tipo específico de sala (laboratório de informática), necessitando de ajustes para incorporar uma tipagem mais flexível e abranger diferentes tipos de salas. Além disso, a segregação rigorosa dos horários, não reconhecendo automaticamente o padrão do sistema acadêmico, exigiu transcrição manual. No aspecto de acessibilidade, não foi possível incluir critérios relacionados ao nível de acessibilidade dos prédios ou à minimização do deslocamento dos alunos, devido à falta dessas informações nos dados. Adicionalmente, vale notar que em prol da busca pela melhor atribuição possível, a alocação é realizada por turma e horário, o que implica que uma turma pode ser alocada em salas diferentes em horários distintos. Esse comportamento pode ser considerado não desejado, dependendo da gestão e das preferências dos

envolvidos, tornando necessária uma revisão desse aspecto na prática de alocação. Por fim, a integração com o sistema acadêmico ou a criação de uma interface amigável não foram viáveis, com a execução do modelo realizada exclusivamente via terminal de comando.

Portanto, em termos de investigações futuras, há um vasto território para explorar e expandir as conclusões deste estudo. A ampliação do modelo para abranger outros cursos ou departamentos dentro da UFMA poderia testar sua adaptabilidade em diferentes cenários e condições. A inclusão de um sistema de extração automatizada de dados poderia refinar ainda mais a eficiência e precisão do modelo. Além disso, a incorporação de outras métricas relevantes, como custos operacionais ou sustentabilidade, enriqueceria o modelo, tornando-o mais holístico e alinhado às necessidades práticas. Por último, uma interface de usuário intuitiva e amigável poderia aumentar a usabilidade da solução proposta, tornando-a mais acessível para administradores e gestores acadêmicos, seja uma interface como um programa a parte ou a incorporação da aplicação ao sistema acadêmico da universidade.

Referências Bibliográficas

BURKE, E; WERRA, D De; KINGSTON, J. **Handbook of Graph Theory.**, chapter **Applications to timetabling**. [S.l.]: CRC Press, 2003.

CHVÁTAL, V. **Linear Programming**. [S.l.]: W. H. Freeman, 1983. (Series of books in the mathematical sciences). ISBN 9780716715870.

CLÍMACO, Glaubos; ROSSETI, Isabel; SILVA, Rogério Da; GUERINE, Marcos. A hybrid heuristic based on grasp and rvnd metaheuristics for the prize-collecting covering tour problem. **International Journal of Logistics Systems and Management**, Inderscience Publishers (IEL), v. 41, n. 3, p. 349–370, 2022.

CLÍMACO, Glaubos; SIMONETTI, Luidi; ROSSETI, Isabel; GONZÁLEZ, Pedro Henrique. New approaches for the prize-collecting covering tour problem. **International Journal of Industrial and Systems Engineering**, Inderscience Publishers (IEL), v. 45, n. 1, p. 101–134, 2023.

COUTO, Diego Taliateli do; PAULINO, Felipe Crispim *et al.* Estudo do problema de alocação de salas aplicado ao ifg–campus goiania. Insitituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, 2019.

FREITAS, RC de; USBERTI, FL; TÉCNICO-IC-PFG, Relatório; GRADUAÇÃO, Projeto Final de. Modelo pli para alocação de professores do instituto de computação da unicamp. 2019.

GOLDBERG, David E. Genetic algorithms in search. **Optimization, Machine Learning**, Addison-wesley, 1989.

HILLIER, Frederick S; LIEBERMAN, Gerald J. **Introdução à pesquisa operacional**. [S.l.]: McGraw Hill Brasil, 2013.

JARDIM, Rafael Dutra; CARVALHO, Rodrigo de. Scap-software web para o problema de alocação de salas. 2018.

KRIPKA, RML; KRIPKA, M; SILVA, MC da. Formulação para o problema de alocação de salas de aula com minimização de deslocamentos. **Anais do 43º Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, SOBRAPO Ubatuba, p. 1941–1951, 2011.

NUNES, RAFAEL; SILVA, Fábio; TAVARES, Roberto. **Problema de Alocação de Salas: Modelagem e aplicação na UFSCar**. 11 2017.

PETCOMP/UFMA. **EACOMP - Local**. 2023. Website. Disponível em: <<https://petcompufma.org/eacomp/2017/local.html>>.

PRADO, Alan Souza; SOUZA, SR de. Problema de alocação de salas em cursos universitários: um estudo de caso. **Anais do XLVI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, p. 2054–2065, 2014.

PROEN/UFMA. **Gestão à Vista - Cursos de Graduação**. 2023. Power BI. Disponível em: <<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiMzQ3MmY3MmMtOGNjZC00M2ZhLWlzOTEtYmZjMGNiNjFkMmJlliwidCI6Ijg3M2E0OWMyLTE2NzgtNDliMy1hMmQxLWE0YjE5NmNiNDg0ZiJ9>>.

QU, Rong; BURKE, Edmund K; MCCOLLUM, Barry; MERLOT, Liam TG; LEE, Sau Y. A survey of search methodologies and automated system development for examination timetabling. **Journal of scheduling**, Springer, v. 12, p. 55–89, 2009.

SALES, Elijeane dos Santos *et al.* Problema de alocação de salas e a otimização dos espaços no centro de tecnologia da ufsm. Universidade Federal de Santa Maria, 2015.

SILVA, Luciano Fernandes Acioli Cabral *et al.* Modelo de programação linear inteira para o problema de alocação de salas: estudo de caso em uma instituição de ensino superior. Universidade Federal da Paraíba, 2019.

SOCHA, Krzysztof; KNOWLES, Joshua D. Metaheuristics in combinatorial optimization: Overview and conceptual comparison. **ACM Computing Surveys (CSUR)**, v. 41, n. 1, p. 6, 2009.

TAHA, H.A. **Operations Research: An Introduction**. [S.l.]: Prentice Hall, 2011. ISBN 9780132555937.

TOMAZ, Felipe Augusto Magno; FONSECA, George Henrique Godim da. **Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas Departamento de Computação e Sistemas**. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Ouro Preto, 2020.

UFMA. **Histórico da UFMA**. 2023. Acessado em: 04/11/2023. Disponível em: <<https://portalpadrao.ufma.br/site/institucional/historico>>.

VANSTEENWEGEN, Pieter; OCHOA, Gabriela. The educational timetabling problem. CRC Press, p. 174–189, 2015.

WINSTON, Wayne L; VENKATARAMANAN, Munirpallam; GOLDBERG, Jeffrey B. **Introduction to mathematical programming**. [S.l.]: Thomson/Brooks/Cole Duxbury, Pacific Grove, CA, 2003.

WODTKE, Lucas Henrique Gonçalves *et al.* Otimização na gerência acadêmica utilizando técnicas de programação linear e inteira. Florianópolis, SC., 2022.

WOLSEY, Laurence A. **Integer programming**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2020.

APÊNDICE A – Código-Fonte

O código desenvolvido está disponível no endereço <https://github.com/JLucks/PASResolution>. Um arquivo README está incluso no projeto contendo as informações para compilação e execução do programa.

ANEXO A – Salas de Aula - 2023.1

Tabela 10: Salas de Aula - 2023.1

Solicitação de Salas de Aula para o Período 2023.1								
Curso:	CIÊNCIAS DA COMPUTAÇÃO							
Coordenador:	ANTÔNIO DE ABREU BATISTA JUNIOR							
Listagem de Disciplinas								
Período (1o, 2o, ...)	Código da Disciplina	Nome da Disciplina	Departamento/Curso:	Número da Turma	Horário das Aulas Teóricas	Quantidade de Alunos Matriculados	SALAS	Nome do Professor
2º	DEMA0342	Álgebra Linear I	DEMAT	1	35T45	56	P. FREIRE NORTE - 304	Valeska Martins de Souza
1º	DEIN0076	Algoritmos I	DEINF	1	2T23	56	CCET LAB 3	Carlos de Salles Soares Neto
1º	DEIN0076	Algoritmos I	DEINF	1	4T23	56	P. FREIRE NORTE - 205	Carlos de Salles Soares Neto
7º	DEIN0093	Algoritmos II	DEINF	1	2T45	25	CCET B9 - 104	Carlos de Salles Soares Neto
7º	DEIN0093	Algoritmos II	DEINF	1	4T45	25	CCET B5 - LI 2	Carlos de Salles Soares Neto
3º	DSOC0055	Antropologia	DSOC	1	2N12	60	P. FREIRE NORTE - 202	Rodrigo Theophilo Folhes
3º	DSOC0055	Antropologia	DSOC	1	4N12	60	P. FREIRE NORTE - 205	Rodrigo Theophilo Folhes
3º	DEIN0079	Arquitetura de Computadores	DEINF	1A	24T6 24N1	40	P. FREIRE NORTE - 201	Antonio de Abreu Batista Júnior
5º	DEIN0115	Banco de Dados I	DEINF	1	24T45	30	CCET B6 - 317	Simara Vieira da Rocha
7º	DEIN0185	Banco de Dados II	DEINF	1	24T23	20	CCET B8 - LI 1	Carlos Eduardo Portela Serra de Castro
1º	DEMA0339	Cálculo I	DEMAT	1	36T23 5T45	60	P. FREIRE NORTE - 205	Jadef
2º	DEMA0341	Cálculo II	DEMAT	1	245T6 245N1	56	P. FREIRE NORTE - 304	Italo Augusto oliveira de Albuquerque
3º	DEMA0338	Cálculo III	DEMAT	1	24N23	50	P. FREIRE NORTE - 304	Gustavo Silvestre do Amaral Costa
6º	DEIN0117	Cálculo Numérico	DEINF	1	35T45	40	SEM SALA	Carlos Antônio Vanderley Gonçalves
1º	DEMA0340	Cálculo Vetorial e geo. Analítica	DEMAT	1	24T45	60	P. FREIRE NORTE - 205	Adecarlos Costa Carvalho
5º	DEEE0220	Circuitos Digitais I	DEEE	1	35T45	40	CCET B7 - 101	Francisco Paulo Roberto Sampaio Alves
5º	DEIN0086	Compiladores	DEINF	1	35T23	35	CCET B1 - 200	Ivo José da Cunha Serra
6º	DEIN0110	Computação e Sociedade	DEINF	1	35N12	35	CCET B7 - 107	Carlos Eduardo Portela Serra de Castro
7º	DEIN0120	Computação Gráfica	DEINF	1	2T23	25	CCET B7 - 107	Darlan Bruno Pontes Quintanilha
7º	DEIN0120	Computação Gráfica	DEINF	1	4T23	25	CCET B5 - LI 4	Darlan Bruno Pontes Quintanilha
8º	DECC0076	Contabilidade Geral	DECC	1	35T6N1	30	CCET B1 - 200	A definir
7º	DEIN0099	Engenharia de Requisitos	DEINF	1	24T6 24N1	20	CCET B7 - 208	Carlos Eduardo Portela Serra de Castro
4º	DEIN0226	Engenharia de Software	DEINF	1	35T6 35N1	40	CCET B7 - 104	Luís Jorge Henrique Rivero Cabrejais
6º	DEMA0344	Equações Diferenciais I	DEMAT	1	35T6 35N1	50	CCET B7 - 101	Gerard John Alva Morales
4º	DEMA0343	Estatística e Probabilidade	DEMAT	1	24N12	45/40	SEM PROFESSOR	-
3º	DEIN0080	Estrutura de Dados I	DEINF	1A	2T45	50	P. FREIRE NORTE - 201	Anselmo Cardoso de paiva
3º	DEIN0080	Estrutura de Dados I	DEINF	1A	4T45	50	P. FREIRE NORTE - 303	Anselmo Cardoso de paiva
4º	DEIN0083	Estrutura de Dados II	DEINF	1A	24T45	45	P. FREIRE NORTE - 304	João Dallyson Sousa de Almeida
1º	DEFIL0315	Ética e Cidadania	DEFIL	1	24T6 24N1	60	P. FREIRE NORTE - 303	Marcos Antônio Macedo Munis
6º	DFIL0048	Filosofia (LE)	DFIL	2	6T56 6N1	50	CCET B7 - 102	Marcelo Magno Correa Antunes
2º	DEFI0254	Física I	DEFIS	1	24T23	56	P. FREIRE NORTE - 304	A definir
3º	DEFI0255	Física III	DEFIS	1	35T45	40	P. FREIRE NORTE - 107	A definir
6º	DEIN0231	Gerência de Projeto de Software	DEINF	1	35T23	30	CCET B7 - 102	Simara Vieira da Rocha
7º	DEIN0101	Hipermedia	DEINF	1	24T6 24N1	30	CCET B1 - 200	Carlos de Salles Soares Neto
6º	DEIN0118	Inteligência Artificial	DEINF	1	3T23	35	CCET B5 - LI 3	Tiago Bonini Borchardt
6º	DEIN0118	Inteligência Artificial	DEINF	1	5T23	35	CCET B7 - 107	Tiago Bonini Borchardt
7º	DEIN0102	Interface Humano-Computador	DEINF	1	35N23	30	CCET B7 - 208	Luís Jorge Henrique Rivero Cabrejais

Período (1o, 2o, ...)	Código da Disciplina	Nome da Disciplina	Departamento/Curso:	Número da Turma	Horário das Aulas Teóricas	Quantidade de Alunos Matriculados	SALAS	Nome do Professor
8º	DECC0077	Introdução à Administração	DECC	1	619N123	60	CCET B6 - 317	A definir
1º	DEIN0075	Introdução à Computação	DEINF	1	3T456	56	CCET LAB 3	Carlos Eduardo Portela Serra de Castro
5º	DEIN0232	Introdução à Criptografia	DEINF	1	24T23	30	CCET B1 - 200	Antonio de Abreu Balista Júnior
7º	DEIN0233	Introdução à Mineração de Dados	DEINF	1	35T45	20	CCET B5 - LI 4	Ivo José da Cunha Serra
7º	DEIN0103	Laborat. de Engenharia de Software	DEINF	1	2T23	30	LAB 4	Geraldo Braz Júnior
7º	DEIN0103	Laborat. de Engenharia de Software	DEINF	1	4T23	30	LAB 2 (Temp)	Geraldo Braz Júnior
5º	DEEE0221	Laboratório de Circuitos Digitais I	DEEE	1	6T45	14	CCET LAB SDG	Francisco Paulo Roberto Sampaio Alves
5º	DEEE0221	Laboratório de Circuitos Digitais I	DEEE	2	6T23	14	CCET LAB SDG	Francisco Paulo Roberto Sampaio Alves
7º	DEIN0237	Laboratório de Programação	DEINF	1	24T45	20	CCET B5 - LI 4	Geraldo Braz Júnior
6º	DEIN0236	Laboratório de Redes de Computadores	DEINF	1	3T23	20	SEM SALA/ Lab 4	Samir Beliche Vale
6º	DEIN0236	Laboratório de Redes de Computadores	DEINF	1	5T23	20	CCET B7 - 108	Samir Beliche Vale
7º	DEIN0238	Laboratório de Software Básico	DEINF	1	3N34	30	CCET B8 - LI 1	Adauto de Sousa Lima Neto
2º	DEIN0300	Linguagem de Programação I	DEINF	1A	24T45	50	CCET LAB 3	Francisco Glaubos Nunes Climaco
3º	DEIN0225	Linguagem de Programação II	DEINF	1	2T23	50	P. FREIRE NORTE - 303	Tiago Bonini Borchart
3º	DEIN0225	Linguagem de Programação II	DEINF	1	4T23	50	CCET LAB 3	Tiago Bonini Borchart
4º	DEIN0822	Linguagem Formais e Autômatos	DEINF	1	2T23	28/40	SEM SALA	Ivo José da Cunha Serra
4º	DEIN0822	Linguagem Formais e Autômatos	DEINF	1	4T23	28/40	SEM SALA	Ivo José da Cunha Serra
2º	DEIN0078	Matemática Discreta e Lógica	DEINF	1	35T23	50	P. FREIRE NORTE - 304	Luciano Reis Coutinho
7º	DEIN0239	Metodologia da Pesquisa em CC	DEINF	1	35T6N1	20	CCET B9 - 103	Ivo José da Cunha Serra
7º	DEIN0119	Pesquisa Operacional	DEINF	1	35T45	5/30	SEM SALA/ Lab 2 (Temp)	Francisco Glaubos Nunes Climaco
8º	EECP0033	Princ. e Aplicações de Robótica	EECP	1	49N12	30	CCET B7 - 102	Paulo Rogério de Almeida Ribeiro
7º	DEIN0104	Processamento de Imagens	DEINF	1	3T45	30	CCET B7 - 107	Aristofanes Correa Silva
7º	DEIN0104	Processamento de Imagens	DEINF	1	5T45	30	LAB	Aristofanes Correa Silva
5º	DEIN0087	Processo de Des. de Softwares	DEINF	1	24T23	30	CCET B9 - 104	Simara Vieira da Rocha
7º	DEIN0240	Qualidade de Software	DEINF	1	35T45	30	CCET B1 - 200	Samir Beliche Vale
4º	DEIN0088	Redes de Computadores I	DEINF	1	6T2345	35	CCET B5 - LI 3	Samir Beliche Vale
7º	DEIN0106	Redes de Computadores II	DEINF	1	35T45	7/30	SEM SALA/LAWS (Temp)	Mario Antonio Meireles Teixeira
7º	DEIN0242	Sist. de Informações Geográficas	DEINF	1	2T45	30	LAB 1 Temporário	Darlan Bruno Pontes Quantalilha
7º	DEIN0242	Sist. de Informações Geográficas	DEINF	1	4T45	30	LAB 1	Darlan Bruno Pontes Quantalilha
7º	DEIN0107	Sistemas Distribuídos	DEINF	1	35T45	6/30	SEM SALA Lab 1 (Temp)	Francisco José da Silva e Silva
7º	DEIN0108	Sistemas Inteligentes	DEINF	1	24T23	25	CCET B9 - 103	João Dallyson Sousa de Almeida
4º	DEIN0114	Sistemas Operacionais I	DEINF	1	35T23	35	CCET B7 - 104	Francisco José da Silva e Silva
3º	DSOC0013	Sociologia	DSOC	2	6T2345	56	P. FREIRE NORTE - 304	Elio de Jesus Partoja Alves
6º	DEIN0085	Teoria da computação	DEINF	1	24T23	45	CCET B7 - 101	Luciano Reis Coutinho

Fonte: DEINF/CCET (2023)

ANEXO B – Levantamento PCD - 2023.1

Tabela 11: Levantamento PCD - 2023.1

Componente	Turma	Visual	Física	Deficiência (Visual ou Física)
DECC0076	1	FALSO	FALSO	FALSO
DECC0077	1	FALSO	FALSO	FALSO
DEEE0220	1	FALSO	FALSO	FALSO
DEEE0221	1	FALSO	FALSO	FALSO
DEEE0221	2	FALSO	FALSO	FALSO
DEFI0254	1	FALSO	FALSO	FALSO
DEFI0255	1	FALSO	FALSO	FALSO
DEIN0030	01A	FALSO	FALSO	FALSO
DEIN0075	1	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO
DEIN0076	1	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO
DEIN0078	1	FALSO	FALSO	FALSO
DEIN0079	01A	FALSO	FALSO	FALSO
DEIN0080	01A	FALSO	FALSO	FALSO
DEIN0082	1	FALSO	FALSO	FALSO
DEIN0083	01A	FALSO	FALSO	FALSO
DEIN0085	1	FALSO	FALSO	FALSO
DEIN0086	1	FALSO	FALSO	FALSO
DEIN0087	1	FALSO	FALSO	FALSO
DEIN0088	1	FALSO	FALSO	FALSO
DEIN0093	1	FALSO	FALSO	FALSO
DEIN0099	1	FALSO	FALSO	FALSO
DEIN0101	1	FALSO	FALSO	FALSO
DEIN0102	1	FALSO	FALSO	FALSO
DEIN0103	1	FALSO	FALSO	FALSO
DEIN0104	1	FALSO	FALSO	FALSO
DEIN0106	1	FALSO	FALSO	FALSO
DEIN0107	1	FALSO	FALSO	FALSO
DEIN0108	1	FALSO	FALSO	FALSO
DEIN0110	1	FALSO	FALSO	FALSO

Componente	Turma	Visual	Física	Deficiência (Visual ou Física)
DEIN0114	1	FALSO	FALSO	FALSO
DEIN0115	1	FALSO	FALSO	FALSO
DEIN0117	1	VERDADEIRO	FALSO	VERDADEIRO
DEIN0118	1	FALSO	FALSO	FALSO
DEIN0119	1	FALSO	FALSO	FALSO
DEIN0120	1	FALSO	FALSO	FALSO
DEIN0185	1	FALSO	FALSO	FALSO
DEIN0225	1	FALSO	FALSO	FALSO
DEIN0226	1	FALSO	FALSO	FALSO
DEIN0231	1	FALSO	FALSO	FALSO
DEIN0232	1	FALSO	FALSO	FALSO
DEIN0233	1	FALSO	FALSO	FALSO
DEIN0236	1	FALSO	FALSO	FALSO
DEIN0237	1	FALSO	FALSO	FALSO
DEIN0238	1	FALSO	FALSO	FALSO
DEIN0239	1	FALSO	FALSO	FALSO
DEIN0240	1	FALSO	FALSO	FALSO
DEIN0242	1	FALSO	FALSO	FALSO
DEMA0338	1	FALSO	FALSO	FALSO
DEMA0339	1	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO
DEMA0340	1	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO
DEMA0341	1	FALSO	FALSO	FALSO
DEMA0342	1	FALSO	FALSO	FALSO
DEMA0344	1	FALSO	FALSO	FALSO
DFIL0048	2	FALSO	FALSO	FALSO
DFIL0315	1	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO
DSOC0055	1	FALSO	FALSO	FALSO
DSOC0313	2	FALSO	FALSO	FALSO
EECP0033	1	FALSO	FALSO	FALSO

Fonte: STI/UFMA (2023)