

LUIZ CARLOS GOMES FILHO

**ALOCÇÃO DE PROFESSORES EM HORÁRIOS DO PLANTÃO DE
DÚVIDAS PARA O CURSO E COLÉGIO OBJETIVO:
UMA ABORDAGEM HEURÍSTICA**

Trabalho apresentado à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para
obtenção do Diploma de Engenheiro de
Produção

São Paulo

2006

LUIZ CARLOS GOMES FILHO

**ALOCÇÃO DE PROFESSORES EM HORÁRIOS DO PLANTÃO DE
DÚVIDAS PARA O CURSO E COLÉGIO OBJETIVO:
UMA ABORDAGEM HEURÍSTICA**

Trabalho apresentado à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para
obtenção do Diploma de Engenheiro de
Produção

Orientadores: Prof. Dra. Débora Pretti
Ronconi e Prof. Dr. Miguel Cezar Santoro

**São Paulo
2006**

FICHA CATALOGRÁFICA

Gomes Filho, Luiz Carlos

**Alocação de professores em horários do plantão de dúvidas
para o Curso e Colégio Objetivo: uma abordagem heurística /
L.C. Gomes Filho. -- São Paulo, 2006.**

122 p.

**Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade
de São Paulo. Departamento de Engenharia de Produção.**

**1.Heurística 2.Algoritmos de scheduling 3.Pesquisa operacio-
nal Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departa-
mento de Engenharia de Produção II.t.**

Dedico este trabalho aos meus filhos,
Thomas e Isabel, e à minha esposa,
Simone.

AGRADECIMENTOS

A Deus, sem O Qual nada pode ser feito, e à Virgem Maria pelo constante amparo.

À Simone, minha esposa, pela paciência e compreensão dispendidas durante a elaboração deste trabalho, e à minha mãe, Clarice, pela ajuda que nos prestou.

Aos meus bebês, Thomas e Isabel, cuja presença foi um incentivo constante e revigorante para seguir em frente.

Ao jornalista e grande amigo Cassiano “Sam” Pimentel, pela substancial ajuda na revisão gramatical do texto, e à Mariana Diniz pela tradução do resumo para o idioma inglês.

Aos professores Antônio Fazoli e José Ricardo Verona Alves do Curso e Colégio Objetivo pela sempre boa vontade que tiveram em responder às dúvidas surgidas e pela prontidão no fornecimento dos dados.

Aos alunos, coordenadores e professores do plantão de dúvidas do Objetivo que prestaram auxílio fornecendo informações.

À professora Débora Pretti Ronconi, pela orientação em TF1, fornecimento de material, e indicação valiosa de fontes para pesquisa.

Ao professor Miguel Cezar Santoro, pela orientação em TF2, pela sempre boa vontade e paciência nas explicações, e pelas sugestões relativas a estruturação dos dados, essenciais para a resolução do problema.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

A dúvida é o princípio da sabedoria.
(Aristóteles)

RESUMO

O presente trabalho trata de um tema estudado há muitos anos pela Pesquisa Operacional: a resolução de um problema de *timetabling*. O problema abordado é o da alocação de professores em horários do plantão de dúvidas para o **Curso e Colégio Objetivo**. Para tanto, desenvolveu-se um algoritmo baseado na heurística GRASP (*Greedy Randomized Adaptative Search Procedure*), que se compõe internamente de dois outros algoritmos, um construtivo e outro de melhoria. O algoritmo GRASP assim criado foi implementado sob forma de aplicativo desenvolvido em VBA (Visual Basic for Application) no Excel, e, após testes iniciais de desempenho, foi aplicado na resolução do problema proposto. Os resultados obtidos mostraram-se de boa qualidade, e considerados de qualidade superior ao gerado pelo processo manual segundo os coordenadores do plantão de dúvidas, responsáveis pela elaboração do horário, que até então era feito manualmente.

Palavras-Chave: *Timetabling*. Alocação de professores. Alocação escolar. Programação de tarefas. Alocação de pessoal.

ABSTRACT

The present project discuss a subject that has been studied for many years for the Operacional Research: solving a timetabling problem. The matter is distributing teachers during the doubt shift for Objetivo Course and School. Therefore, a algorithm was developed based on a heuristic GRASP (Greedy Randomized Adaptative Search Procedure) that is inside composed by two algorithms, a construction one and an improve one. The GRASP algorithm was applied like a software developed in VBA (Visual Basic for Application) Excel, and after initial performance tests, it was applied solving the offered problem. There were good results. And they were considerate of superior quality than a by hand process according to the doubt shift managers who are responsible for the timetable that was made by hand.

Key-words: Timetabling. Distributing teachers. Distributing schools. Task plan. Distributing people.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Exemplo do procedimento <i>Simulated Annealing</i>	29
Figura 2 - Procedimento GRASP	31
Figura 3 - Procedimento de Busca Tabu	33
Figura 4 - Procedimento do Algoritmo Genético	34
Figura 5 - Esquema da estruturação do problema em 4 fases.....	36
Figura 6 - Diagrama de causa e efeito de um horário de má qualidade.....	41
Figura 7 - Ligação entre chave primária e chave estrangeira	53
Figura 8 - Relacionamento entre professores, disciplinas e disciplinas por prof.	63
Figura 9 - Relacionamento entre professores, janelas e calendário.....	63
Figura 10 - Relacionamento entre turmas, disciplinas e disciplinas por turma	64
Figura 11 - Relacionamento entre unidades e turmas.....	64
Figura 12 - Relacionamento entre turmas, janelas e calendário	65
Figura 13 - Relacionamento entre salas, janelas e calendário das salas.....	65
Figura 14 - Relacionamento entre unidades e salas	66
Figura 15 - Fluxograma do algoritmo GRASP utilizado.....	68
Figura 16 - QFD entre as necessidades declaradas e os critérios de qualidade	72
Figura 17 - Função objetivo.....	74
Figura 18 - Fluxograma do algoritmo construtivo	77
Figura 19 - Compatibilidade entre professor e turma	80
Figura 20 - Estrutura geral do código numérico para escolha dos professores	83
Figura 21 - Fluxograma do algoritmo de melhoria.....	89

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Evolução do conjunto <i>Best</i> para o teste 1	91
Gráfico 2 - Evolução do conjunto <i>Best</i> para o teste 2	93
Gráfico 3 - Evolução do conjunto <i>Best</i> para o teste 3	95
Gráfico 4 - Evolução do <i>score</i> das soluções candidatas	100
Gráfico 5 - Evolução do conjunto <i>Best</i> para o problema real	102

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Unidades-escolas abrangidas pelo escopo deste trabalho	20
Quadro 2 – Exemplo de uma unidade de horário alocada	37
Quadro 3 – Relação entre especificações e necessidades dos interessados	42
Quadro 4 – Dados gerais de entrada	48
Quadro 5 – Critérios para alocação dos professores	48
Quadro 6 – Restrições do problema.....	50
Quadro 7 – Estrutura da tabela de professores.....	54
Quadro 8 – Estrutura da tabela de unidades.....	54
Quadro 9 – Estrutura da tabela de disciplinas.....	55
Quadro 10 – Estrutura da tabela de turmas	56
Quadro 11 – Estrutura da tabela de salas.....	57
Quadro 12 – Estrutura da tabela de janelas.....	57
Quadro 13 – Estrutura da tabela de calendário dos professores	58
Quadro 14 – Estrutura da tabela de disciplinas por professor.....	59
Quadro 15 – Estrutura da tabela de calendário das turmas	60
Quadro 16 – Estrutura da tabela de disciplinas por turma	61
Quadro 17 – Estrutura da tabela do calendário das salas.....	61
Quadro 18 – Estrutura da tabela de períodos	62
Quadro 19 – Restrições do problema.....	70
Quadro 20 – Aplicação do critério da carga horária	81
Quadro 21 – <i>Timetabling</i> resultante para o teste 1	92
Quadro 22 – <i>Timetabling</i> resultante para o teste 2	94
Quadro 23 – <i>Timetabling</i> resultante para o teste 3	97
Quadro 24 – Parâmetros de parada.....	99
Quadro 25 – Evolução percentual do conjunto <i>Best</i>	101
Quadro 26 – <i>Timetabling</i> resultante para o problema	103
Quadro 27 – <i>Score</i> por parcelas da função objetivo	108
Quadro 28 – Professores com déficit de carga horária alocada.....	109
Quadro 29 – Deslocamentos que penalizaram a função objetivo	109
Quadro 30 – Desvio da carga horária alocada para as turmas	114

Quadro 31 – Desvio da carga horária alocada para os professores	118
Quadro 32 – Preferências dos professores que foram desrespeitadas.....	120
Quadro 33 – Deslocamentos diários dos professores.....	121

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AG	Algoritmo Genético
Col.	Colégio
Biol.	Biologia
BT	Busca Tabu
Fís.	Física
Geogr.	Geografia
GRASP	Greedy Randomized Adaptive Search Procedure
Hist.	História
Mat.	Matemática
Port.	Português
Quím.	Química
TT	Timetabling
SA	Simulated Anneling
TF1	Trabalho de formatura 1 (primeira parte do trabalho)
TF2	Trabalho de formatura 2 (segunda parte do trabalho)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	18
2.1	A EMPRESA	18
2.1.1	<i>Breve Histórico da Empresa</i>	18
2.1.2	<i>O Escopo deste Trabalho</i>	19
2.1.3	<i>O Departamento de Plantão de Dúvidas</i>	22
2.2	O PROBLEMA	22
2.3	OBJETIVO DA RESOLUÇÃO	23
2.4	OBJETIVO ESPECÍFICO DESTES TRABALHOS	25
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	26
3.1	<i>TIMETABLING</i>	26
3.2	<i>SIMULATED ANNEALING</i>	28
3.3	<i>GRASP (GREEDY RANDOMIZED ADAPTIVE SEARCH PROCEDURE)</i>	30
3.4	BUSCA TABU	32
3.5	ALGORITMOS GENÉTICOS	33
4	MODELAGEM DO PROBLEMA	35
4.1	ESTRUTURAÇÃO DO PROBLEMA EM FASES	35
4.2	LEVANTAMENTO DAS NECESSIDADES DOS INTERESSADOS	39
4.2.1	<i>Diagrama de causa e efeito</i>	40
4.3	ESPECIFICAÇÕES DO PROCESSO	42
4.4	ENTRADAS, RESTRIÇÕES E SAÍDAS DO PROCESSO	43
4.4.1	<i>Entradas</i>	44
4.4.1.1	Dados sobre os professores	44
4.4.1.2	Dados sobre as Unidades	45
4.4.1.3	Dados sobre as disciplinas	45
4.4.1.4	Dados sobre as turmas	45
4.4.1.5	Dados sobre as salas	46
4.4.1.6	Dados sobre as janelas	46
4.4.1.7	Dados sobre os Períodos	46
4.4.1.8	Dados Gerais da Alocação	47

4.4.1.9	Grau de importância dos critérios de alocação dos professores	48
4.4.2	<i>Restrições do problema</i>	50
4.4.3	<i>Saídas</i>	51
5	ESTRUTURAÇÃO DA BASE DE DADOS	52
5.1	TABELAS E ATRIBUTOS.....	53
5.1.1	<i>Tabela de professores</i>	53
5.1.2	<i>Tabela de unidades</i>	54
5.1.3	<i>Tabela de disciplinas</i>	55
5.1.4	<i>Tabela de turmas</i>	55
5.1.5	<i>Tabela de salas</i>	56
5.1.6	<i>Tabela de janelas</i>	57
5.1.7	<i>Tabela do calendário dos professores</i>	58
5.1.8	<i>Tabela de disciplinas por professor</i>	58
5.1.9	<i>Tabela do calendário das turmas</i>	59
5.1.10	<i>Tabela das disciplinas por turma</i>	60
5.1.11	<i>Tabela do calendário das salas</i>	61
5.1.12	<i>Tabela de períodos</i>	62
5.2	DIAGRAMAS DE RELACIONAMENTOS	62
5.2.1	<i>Professores, disciplinas e disciplinas por professor</i>	63
5.2.2	<i>Professores, janelas e calendário dos professores</i>	63
5.2.3	<i>Turma, disciplinas e disciplinas por turma</i>	64
5.2.4	<i>Turmas por unidade</i>	64
5.2.5	<i>Calendário das turmas</i>	65
5.2.6	<i>Calendário das salas</i>	65
5.2.7	<i>Salas por unidade</i>	66
6	O ALGORITMO DE RESOLUÇÃO.....	67
6.1	FUNÇÃO OBJETIVO	69
6.2	O ALGORITMO CONSTRUTIVO	75
6.2.1	<i>Leitura dos dados</i>	78
6.2.2	<i>O sorteio da turma</i>	78
6.2.3	<i>O sorteio da disciplina</i>	78
6.2.4	<i>A escolha do professor</i>	79
6.2.4.1	<i>A influência do parâmetro α na ordem do código</i>	83
6.2.5	<i>O agendamento do plantão</i>	84

6.2.6	<i>A escolha da sala</i>	85
6.2.7	<i>Atualização das informações.....</i>	85
6.2.8	<i>Saída do algoritmo construtivo</i>	86
6.3	O ALGORITMO DE MELHORIA	86
6.3.1	<i>Redistribuição do número de horas entre os professores</i>	88
7	TESTES PRELIMINARES	90
7.1	TESTE 1: PROBLEMA SEM CONFLITOS DE INTERESSES PARA UMA UNIDADE.	91
7.2	TESTE 2: PROBLEMA SEM CONFLITOS DE INTERESSES PARA DUAS UNIDADES.	92
7.3	TESTE 3: PROBLEMA COM CONFLITOS PARA DUAS UNIDADES.....	95
7.4	CONCLUSÕES SOBRE OS TESTES	98
8	RESOLUÇÃO DO PROBLEMA PRINCIPAL	99
8.1	ANÁLISE DE DESEMPENHO	99
8.2	TIMETABLING RESULTANTE.....	103
9	DISCUSSÃO SOBRE OS RESULTADOS	108
10	CONCLUSÕES.....	111
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	113
	APÊNDICE A – DESVIO DOS RESULTADOS EM RELAÇÃO AO ESPERADO	
	PARA O PROBLEMA REAL	114

1 Introdução

A alocação horária de pessoal é estudada pela pesquisa operacional há muito tempo. Na literatura, problemas dessa natureza são conhecidos com o nome de *Timetabling*, e abrangem um elevado número de variantes. Dentre as variantes mais conhecidas, temos o *nurse rostering*, *university timetabling*, *exam timetabling*, *sport timetabling*, *railway timetabling*, *school timetabling*, *course timetabling*, *class-teacher timetabling*, *student scheduling*, *teacher assignment*, *project sheduling*, *bus scheduling*, *airflight schedules*.

Problemas de TT são de natureza combinatória e inteira, o que dificulta o uso eficiente de algoritmos otimizantes já para instâncias de pequeno porte. Na verdade, Even; Atai; Shamir (1) afirmam que o *school Timetabling*, variante relacionada a este trabalho, é considerado NP-Hard para quase todas as formas que ele pode aparecer, o que implica que esses problemas são considerados inviáveis de serem resolvidos por métodos otimizantes em tempo computacional hábil, pois o tempo de processamento aumenta exponencialmente com o número de variáveis.

Este trabalho toma por tema a resolução de um problema da classe TT que trata da alocação horária de professores. Especificamente, é abordada a distribuição de 52 professores em horários dos plantões de dúvidas de 20 unidades-escolas ao longo da semana, para o **Curso e Colégio Objetivo**, empresa que atua há mais de 40 anos na área da educação. O autor deste trabalho de formatura é funcionário do **Objetivo** no plantão de dúvidas onde ministra plantões nas disciplinas de Matemática, Química e Física.

O objetivo da resolução do problema consistiu-se em gerar um horário capaz de satisfazer as necessidades conjuntas de professores, coordenadores das unidades, alunos e coordenadores do plantão. Para tanto, fez-se o levantamento das necessidades dos interessados, bem como o estudo do relacionamento dessas necessidades aos requisitos do processo de alocação, o que é feito no capítulo 4. Este estudo também abordou considerações sobre a qualidade do processo e do produto do processo, bem como meios para o controle de sua qualidade. Nesse contexto, definem-se as restrições do problema, que visam impedir as características

absolutamente indesejáveis no TT resultante, e também a função objetivo, que é utilizada como parâmetro de comparação da qualidade entre as soluções geradas. As restrições do problema são apresentadas no capítulo 4, e a função objetivo no capítulo 6.

Como objetivo específico deste trabalho, temos a automatização do processo e o uso de técnicas da pesquisa operacional para a resolução do problema. Para tanto, fez-se a modelagem de uma base normalizada de dados contendo as informações de entrada necessárias à alocação conforme descrito no capítulo 5. Um algoritmo foi então desenvolvido e implantado sob forma de um aplicativo que lê as informações na base de dados e gera, como resultado, um TT final e elementos que caracterizam sua qualidade.

O algoritmo desenvolvido para a resolução do problema baseia-se em uma técnica conhecida na pesquisa operacional como GRASP (*Greedy Randomized Adaptive Search Procedure*) ou procedimento de busca gulosa adaptativa e aleatória. Trata-se de uma heurística que contém, em seu escopo, dois outros algoritmos. O primeiro consiste em um algoritmo construtivo no qual uma solução inicial é gerada elemento a elemento com base em um parâmetro aleatório α . O segundo é um algoritmo de melhoria que procura localizar uma solução ótima nas vizinhanças da solução gerada pela fase construtiva, até que se esgotem as possibilidades de melhoria. Esse par construção-melhoria de uma solução se caracteriza como uma iteração do algoritmo GRASP, ou um ciclo, e se repete até que se esgote um tempo de processamento definido como parâmetro de entrada pelo usuário, ou um tempo de processamento sem se conseguir obter soluções melhores, também definido como parâmetro de entrada. No final do processo, é retornada a melhor solução encontrada em todas as iterações, ou ciclos, de processamento. O algoritmo assim desenvolvido é apresentado no capítulo 6.

Para a verificação da eficácia e eficiência do algoritmo desenvolvido, foram feitos alguns testes preliminares no capítulo 7. O algoritmo GRASP é então aplicado na resolução do problema real no capítulo 8.

No capítulo 9 são discutidos os resultados obtidos e na conclusão, capítulo 10, são feitas considerações gerais relativas aos objetivos atingidos e sugestões para trabalhos futuros.

2 Definição do Problema

Neste capítulo fazemos uma apresentação da empresa onde este trabalho de formatura foi desenvolvido, definimos o problema objeto e, no final do capítulo, apresentamos o objetivo da resolução do problema e o objetivo específico deste trabalho.

2.1 A Empresa

O **Curso e Colégio Objetivo** é uma empresa que atua na área da educação. O grupo Objetivo é hoje um dos maiores do Brasil na sua área, possui cursos que vão do ensino fundamental, passando pelo ensino médio e cursos pré-vestibulares, até os cursos superiores e de pós-graduação, que são ministrados na Unip (Universidade Paulista), entidade que pertence ao grupo.

Este trabalho de formatura está relacionado apenas às escolas do Grupo Objetivo que ministram aulas de colégio (1º ao 3º ano do ensino médio) e de cursos pré-vestibulares, especificamente as que se localizam na cidade de São Paulo e municípios próximos (Alphaville, Granja Viana, Santo André e São Bernardo do Campo).

2.1.1 Breve Histórico da Empresa¹

O curso Objetivo foi fundado em 1965 pelos então estudantes de Medicina João Carlos Di Genio e Dráuzio Varella e os médicos Roger Patti e Tadasi Itto como

¹ Informações extraídas do site www4.curso-objetivo.br

um pequeno curso preparatório para as faculdades de Medicina, na região central da cidade de São Paulo.

Em 1970, foi criado o Colégio Objetivo com currículo de ensino médio. Em 1972, foram implantadas as Faculdades Objetivo. Em 1974, nasceu o Colégio Objetivo Júnior, abrangendo a Educação Infantil e o Ensino Fundamental. Em 1982, foi criado o Centro de Pesquisa e Tecnologia Objetivo (CPT), mais tarde batizado CPT – Unip/Objetivo.

Em 1988, as Faculdades Objetivo transformaram-se na Universidade Paulista – Unip, com o reconhecimento do Ministério da Educação e Cultura. Em 1992, foram implantados cursos de pós-graduação voltados tanto para aperfeiçoamento e especialização profissional como para pesquisa. Hoje, a instituição abrange o ciclo completo do sistema educacional brasileiro, da educação infantil à pós-graduação universitária.

2.1.2 O Escopo deste Trabalho

O **Curso e Colégio Objetivo** é uma rede nacional de ensino, possui escolas em diversos estados e cidades brasileiras. No escopo deste trabalho, no entanto, serão consideradas apenas as escolas (unidades) de cursos pré-vestibulares e colegiais localizadas na cidade de São Paulo e proximidades, uma vez que a alocação dos professores do plantão de dúvidas para essas unidades é feita simultaneamente e de maneira totalmente independente do restante da rede.

No âmbito desse escopo, temos um total de 20 unidades nas quais se distribui um corpo de 52 professores que ministram plantões em 7 disciplinas: Matemática, Física, Química, português, geografia, história e biologia.

Uma relação completa das unidades-escolas, juntamente com local e tipos de cursos ministrados, é dada pelo Quadro 1.

Quadro 1 – Unidades-escolas abrangidas pelo escopo deste trabalho

UNIDADE	LOCAL	TIPO DE CURSO
Alphaville - Colégio	Av. Yoshiro Takaoka, 3500 Alphaville - Santana do Parnaíba - SP	colégio
Alphaville - Curso	Alameda Araguaia, 221 - Alphaville - Santana do Parnaíba - SP	pré-vestibular
Cantareira	Av. Água fria, 1913 Água Fria - São Paulo - SP	colégio
Granja Viana	Rua Josá Felix de Oliveira, 81 Granja Viana - Cotia - SP	colégio
Jabaquara	Av. Armando de Arruda Pereira, 2372 Jabaquara - São Paulo - SP	Curso
Luís Goes	Rua Luís Goes, 2163 Mirandópolis - São Paulo - SP	colégio
Marquês de São Vicente	Av. Marquês de São Vicente, 3001 Água Branca - São Paulo - SP	colégio
Morumbi	Av. Duquesa de Goiás, 262 Morumbi - São Paulo - SP	pré-vestibular e colégio
Paraíso	Rua Apeninos, 595 Paraíso - São Paulo - SP	pré-vestibular
Paulista	Av. Paulista, 900 Bela Vista - São Paulo - SP	pré-vestibular e colégio

UNIDADE	LOCAL	TIPO DE CURSO
Paz	Rua Henri Dunant, 203 Rua da Paz, 740 Chácara Sto Antonio - Sto Amaro - SP	colégio
Pinheiros - Colégio	Rua Ferreira de Araújo, 809 Pinheiros - São Paulo - SP	colégio
Pinheiros - Curso	Rua Fernão Dias, 373 Pinheiros - São Paulo - SP	pré-vestibular
Pompéia	Av. Fco. Matarazzo, 1009 - Pompéia - São Paulo - SP	pré-vestibular
Santana	Rua Alferes Magalhães, 115 Santana - São Paulo - SP	pré-vestibular
Santo Amaro	Av. Santo Amaro, 6908 - Santo Amaro - São Paulo - SP	pré-vestibular
Santo André	Rua Senador Fláquer, 639 Santo André - SP	pré-vestibular
São Bernardo do Campo	Rua Frei Gaspar, 248 São Bernardo do Campo - SP	pré-vestibular
Tatuapé - Curso	Praça Sílvio Romero, 234 Tatuapé - São Paulo - SP	pré-vestibular
Vergueiro	Rua Pires da Mota, 1090 Aclimação - São Paulo - SP	colégio

2.1.3 O Departamento de Plantão de Dúvidas

O departamento de plantão de dúvidas do Curso e Colégio Objetivo compõe-se de 52 professores habilitados a ministrar monitoria em 7 disciplinas: Matemática, Física, Química, português, história, geografia e biologia. A importância do departamento está vinculada à estratégia da empresa de oferecer uma solução completa de ensino, incluindo o acompanhamento e apoio à formação educacional de seus alunos. O departamento de plantão de dúvidas administra a monitoria de 20 unidades da empresa, e seus encargos mensais giram em torno de R\$110.000,00.

Na operação do plantão de dúvidas, os professores são designados para diversas unidades e horários ao longo da semana e ficam em salas especiais denominadas salas de estudo aguardando o pedido de auxílio de algum aluno com dúvida.

2.2 O Problema

O problema enfrentado pela empresa (e objeto deste trabalho de formatura) é o de alocação horária de 52 professores em horários do plantão de dúvidas para os cursos pré-vestibulares e colegiais de 20 escolas distribuídas pela cidade de São Paulo e municípios próximos, um problema conhecido na literatura com o nome de *Timetabling*. A alocação horária deve ser feita de modo a conciliar os interesses e necessidades conjuntas de professores, coordenadores das unidades, alunos e coordenadores do plantão de dúvidas.

Atualmente o processo de alocação é manual e demanda o trabalho de duas pessoas: uma faz a alocação e a outra dá suporte ao processo, levantando informações e verificando inconsistências.

O coordenador do processo é o professor José Ricardo Verona Alves, que tem uma experiência de 10 anos na montagem dos horários e é quem efetivamente faz a alocação. O trabalho leva aproximadamente dez dias para ser concluído, é feito nos meses de janeiro e julho, e necessita da dedicação total (8h por dia) de seus dois colaboradores, consumindo um total aproximado de 160 homens x hora. Além disso, parte do processo é repetida ao longo de todo o ano, em virtude da necessidade de adaptações a imprevistos, como diminuição do quadro de professores ou aumento da demanda pelo serviço de plantão de dúvidas nas unidades.

Vale ressaltar o fato de que a alocação de horários não é a principal atividade das pessoas envolvidas. Essa atividade é realizada por professores que deixam de ministrar aulas enquanto dura o processo de alocação.

2.3 Objetivo da Resolução

O objetivo da resolução deste problema de alocação é o de gerar um horário que procure maximizar o grau de satisfação conjunta de professores, coordenadores do plantão, coordenadores das unidades e alunos. Essa satisfação se relaciona às seguintes necessidades:

Alunos:

- Plantão ministrado em horários adequados para os alunos
- Distribuir o plantão de cada disciplina ao longo da semana

Coordenadores do plantão de dúvidas:

- Baixo número de faltas e atrasos dos professores
- Distribuição uniforme do número de horas de plantão entre os professores
- Carga horária para todos os professores maior que a mínima esperada

- Distribuição da carga horária do plantão de acordo com o número de alunos das unidades
- Prioridade das unidades mais importantes
- Professores mais antigos devem ter prioridade

Coordenadores das unidades:

- Plantão de todas as disciplinas requeridas pela unidade e de acordo com um número de horas mínimo esperado

Professores:

- Possibilidade de escolher a unidade de preferência em determinado dia
- Carga horária não menor que a do semestre passado
- Inexistência de deslocamentos diários entre unidades
- Um professor não deve ser alocado a poucas horas em determinado dia

2.4 Objetivo Específico deste Trabalho

O objetivo deste trabalho de formatura é o de utilizar as técnicas da Pesquisa Operacional no desenvolvimento de um sistema que procure atingir o objetivo da resolução do problema, ou seja, um sistema que busque maximizar o grau de satisfação conjunta de professores, coordenadores do plantão, coordenadores das unidades e alunos.

3 Revisão Bibliográfica

3.1 *Timetabling*

Segundo Burke, Petrovic e Qu, “um problema genérico de timetabling inclui a programação de um certo número de eventos (exames, cursos, encontros etc) em um limitado número de períodos de tempo, enquanto satisfaz, tanto quanto o possível, o maior número de restrições requeridas” (2). Segundo esses mesmos autores, as restrições de um TT são normalmente agrupadas da seguinte forma:

- Restrições fortes: não podem ser violadas sob qualquer circunstância. Por exemplo, um professor não pode dar aulas em duas escolas diferentes ao mesmo tempo. As soluções que não violam as restrições fortes são freqüentemente chamadas de viáveis.
- Restrições fracas: são desejáveis mas não essenciais para a resolução. Por exemplo, não é conveniente que existam aulas vagas para um professor entre duas aulas consecutivas num mesmo período do dia.

Para Bardadym (3), a solução manual de um TT é uma tarefa árdua e normalmente requer vários dias de trabalho.

Na literatura o problema de TT é citado como sendo do tipo NP-Hard (Even; Itai e Shamir (1)), o que significa que o esforço computacional cresce exponencialmente com o número de variáveis, inviabilizando o uso eficiente de algoritmos otimizantes, para um tempo de processamento viável.

Tamanha é a abrangência e o número de variantes de problemas de timetabling (Fonseca (4)), que este pode ser encontrado na literatura com a denominação de *nurse rostering*, *university timetabling*, *exam timetabling*, *sport timetabling*, *railway timetabling*, *school timetabling*, *course timetabling*, *class-teacher timetabling*, *student scheduling*, *teacher assignment*, *project sheduling*, *bus scheduling*, *airflight schedules*.

Historicamente, problemas de TT são estudados pelas áreas de pesquisa operacional e Matemática computacional há mais de 40 anos. O primeiro artigo relacionado ao assunto foi publicado por Dantzig em 1954 (5). Desde então, diversos métodos de tratamento são aplicados para a sua resolução. As primeiras técnicas a serem utilizadas foram as heurísticas gráficas, a programação linear inteira e a programação lógica de restrições. Mais recentemente, um grande número de pesquisas têm investigado com sucesso técnicas meta-heurísticas para uma grande variedade de problemas. Estas incluem BT (Busca Tabu), SA (*Simulated Annealing*), e AG (Algoritmos Genéticos ou Evolucionários).

Pécora (6), ao estudar a alocação de médicos em salas de emergência, desenvolve um método que combina duas meta-heurísticas: AG e BT, para alocar diferentes opções e restrições do problema. As duas meta-heurísticas trabalham em conjunto, obtendo-se, dessa forma, um método robusto de busca global que suporte as diferentes requisições pessoais de cada médico. Após testes de sucesso na resolução de um estudo de caso (“A Alocação do Hospital Judeu de Montreal”), o método é aplicado com sucesso na resolução de um problema real: a alocação de médicos do HC da Unicamp.

Um método também híbrido é utilizado por Fonseca (4) para a resolução de um problema de TT enfrentado por uma empresa que fornece treinamentos. É desenvolvido um método que faz a junção da BT a uma heurística construtiva probabilística. Com isso, o problema de alocação é resolvido em três etapas:

Etapa 1: Dada a combinação turma-matéria, decidir qual instrutor será alocado.

Etapa 2: Dado o tuple (turma-matéria-instrutor), decidir em que sala de aula ele será alocado.

Etapa 3: Dado o tuple + sala, decidir em que tempo/horário esta combinação será alocada

O método é então usado com sucesso por Fonseca na resolução de um estudo de caso de médio porte. Nas seções seguintes, damos uma relação dos métodos mais comumente utilizados na resolução de problemas de TT.

3.2 *Simulated Annealing*

O método SA (ou Recozimento Simulado) é um método de procura local que aceita movimentos de piora para escapar de ótimos locais. O método foi proposto originalmente por Kirkpatrick (7) e simula um processo natural em analogia com a termodinâmica, o resfriamento de átomos aquecidos. O método é aplicado com sucesso por Nascimento, Sampario e Alvarenga (8) na resolução de um problema de alocação de salas. O pseudocódigo do algoritmo que foi utilizado é apresentado na figura 1

Procedimento do Simulated Annealing

```

1. Seja  $s_0$  uma solução inicial To a temperatura inicial,  $\alpha$  a taxa de resfriamento e  $Iter_{max}$  o número máximo de iterações para se atingir o equilíbrio
2.  $s \leftarrow s_0$ ; // Solução Corrente
3.  $s' \leftarrow s$ ; // Melhor solução obtida até então
4.  $T \leftarrow T_0$ ; // Temperatura Corrente
5.  $IterT \leftarrow 0$ ; // Número de Iterações na temperatura  $T$ 
6. Enquanto ( $T > 0$ ) faça
7.   Enquanto(  $IterT < Iter_{max}$ ) faça
8.      $IterT \leftarrow IterT + 1$ 
9.     Gere um vizinho qualquer  $s' \in N(s)$ 
10.     $\Delta \leftarrow f(s') - f(s)$ 
11.    Se ( $\Delta < 0$ ) então
12.       $s \leftarrow s'$ ;
13.      Se  $f(s) < f(s^*)$  então
14.         $s^* \leftarrow s$ ; // Melhor Solução
15.      Fim - Se
16.    Senão
17.      Tome  $x \in [0, 1]$ ;
18.      Se  $x < e^{-\Delta/T}$  então
19.         $s \leftarrow s'$ ;
20.      Fim - Se
21.    Fim - Enquanto
22.  Fim - Enquanto
23.   $T \leftarrow \alpha * T$ 
24.   $IterT \leftarrow 0$ 
25. Fim - Enquanto
26. Retorne  $s^*$ ;

```

Figura 1 - Exemplo do procedimento *Simulated Annealing*²

O algoritmo mostrado na figura 1 se decompõe em duas buscas sobrepostas (Nascimento, Sampario e Alvarenga (8)):

- A primeira é a busca interna que possui o processo de otimização. Para cada temperatura fixa, explora-se a vizinhança permitindo ou não os movimentos que são apresentados.

² Adaptado de Nascimento; Sampaio e Alvarenga (8)

- A segunda é uma busca externa e dá o passo do resfriamento até a finalização do processo, quando o sistema atinge o estado resfriado. Considera-se um estado resfriado como sendo aquele em que não há mais chances de encontrar uma solução melhor com a continuação do processamento.

O algoritmo começa a busca por meio de uma solução inicial qualquer e gera, a cada iteração, um único vizinho s' da solução s . A variação da função objetivo é então testada para cada vizinho gerado com o cálculo da seguinte expressão $\Delta = f(s') - f(s)$. Se $\Delta < 0$ s' passa a ser a nova solução corrente, se, no entanto, o vizinho gerado for pior por uma diferença $\Delta > 0$, ele é aceito como solução corrente com uma probabilidade $e^{-\Delta/T}$, em que T é um parâmetro chamado de temperatura. O procedimento é repetido até a estabilidade, ou seja, quando T torna-se muito pequeno, inviabilizando qualquer movimento. É interessante notar que a probabilidade de aceitar movimento que aumenta o valor da função objetivo decresce com a diminuição da temperatura.

3.3 GRASP (*Greedy Randomized Adaptive Search Procedure*)

Segundo Costa (9), o processo de busca adaptativa gulosa e randomizada, proposto inicialmente por Feo e Resende (10), é composto de duas fases. Desse modo, a cada iteração temos:

- Uma primeira fase que consiste na construção de uma solução inicial, elemento por elemento;
- Uma segunda fase que consiste num procedimento de pesquisa em profundidade que procura um ótimo local na vizinhança da solução construída.

Em cada iteração, na fase construtiva do algoritmo, elaboramos uma lista dos elementos a serem agregados à solução que está sendo construída. Essa lista é

ordenada pela contribuição relativa dos elementos ao valor da função objetivo. Utiliza-se então um parâmetro $\alpha \in [0,1]$ para a escolha dos elementos, sendo que para $\alpha = 0$ tem-se um comportamento puramente guloso, ou seja, escolhe-se o próximo da lista na sequência, e para $\alpha = 1$ um comportamento aleatório.

Ao final de cada iteração, o valor da função objetivo calculado para a melhor solução encontrada na última iteração é comparado com o melhor valor para a função objetivo até o momento. Se $f(s) < f(s^*)$, carregamos a melhor solução s^* com s . Na figura 2 apresentamos um pseudocódigo para o algoritmo GRASP.

Procedimento Grasp

```

1. Seja  $Iter_m$  o número máximo de iterações,  $\alpha$  um parâmetro de probabilidade  $\in [0,1]$ ,
    $N$  o máximo de vizinhos pesquisados para cada solução  $so_{iter}$ ,  $f()$  a função objetivo
2.  $f^* \leftarrow \infty$ ;
3.  $Iter \leftarrow 0$ ;
4. Enquanto ( $Iter < Iter_{max}$ ) faça;
5.      $Iter \leftarrow Iter + 1$ ;
6.     Construção de  $so_{ite}$  com  $\alpha$  // Construção da Solução inicial da
                                   // iteração com parâmetro  $\alpha$ ;
7.     Gera  $N$  vizinhos  $s_i$  a  $so_{iter}$ ;
8.      $s \leftarrow so_{iter}$ ;
9.      $i \leftarrow 0$ ;
10.    Enquanto ( $i < N$ ) faça;
11.         $i \leftarrow i + 1$ ;
12.        Se  $f(s_i) < f(s)$  então;
13.             $s \leftarrow s_i$ ; //Carrega o melhor vizinho como solução corrente
14.        Fim - Se;
15.    Fim - Enquanto;
16.    Se  $f(s) < f^*$  então;
17.         $s^* \leftarrow s$ ; // Carrega a melhor solução até o momento
18.         $f^* \leftarrow f(s)$ ;
19.    Fim - Se;
20. Fim - Enquanto;
21. Retorne  $s^*$ 

```

Figura 2 - Procedimento GRASP³

³ Extraído de Costa (9)

3.4 Busca Tabu

Segundo Costa (9), a *BT* é um método de busca local que admite a piora das soluções com o objetivo de escapar de ótimos locais. Em cada iteração busca-se um ótimo local selecionando o melhor vizinho s' da solução s na vizinhança $N(s)$. A solução s' é sempre aceita como solução corrente e substitui s , independentemente de $f(s')$ ser menor ou não que $f(s)$. Para não se voltar a uma solução já pesquisada, o algoritmo usa o conceito de lista tabu. Essa lista guarda a informação de todos os movimentos e um atributo como sendo tabu por um certo número de iterações, conhecido como tempo tabu. Tais movimentos são proibidos, a não ser que a busca satisfaça a algum critério de aspiração como, por exemplo, ser essa a melhor solução encontrada em um certo número de iterações. O procedimento termina quando um critério de parada é satisfeito, normalmente um certo número de iterações sem melhora. Um pseudocódigo do algoritmo de *BT* é apresentado na figura 3.

Procedimento de Busca Tabu

1. Seja s_0 a solução inicial;
2. $s^* \leftarrow s$; //Melhor solução obtida até então
3. $Iter \leftarrow 0$; // Contador do número de iterações
4. $MelhorIter \leftarrow 0$; //Iteração mais recente que forneceu s^*
5. Seja $Btmax$ o número máximo de iterações sem melhora em s^* ;
6. $T \leftarrow \phi$;
7. Inicialize a função de aspiração A ;
8. Enquanto $(Iter - MelhorIter \leq Btmax)$ faça
 9. $Iter \leftarrow Iter + 1$;
 10. Seja $s' = s \oplus m$ o melhor elemento de $V \subseteq N(s)$ tal que o movimento m não seja Tabu ($m \notin T$) ou s' atenda a condição de aspiração ($f(s') \leq A(f(s))$);
 11. $T \leftarrow T - (\text{movimento mais antigo}) + (\text{movimento que gerou } s')$;
 12. $s \leftarrow s'$;
 13. se $f(s) < f(s^*)$ então
 14. $s^* \leftarrow s$;
 15. Atualize a função de Aspiração A ;
 16. $MelhorIter \leftarrow Iter$;
 17. fim - se
18. fim - enquanto
19. Retorne s^* ;

Figura 3 - Procedimento de Busca Tabu ⁴

3.5 Algoritmos Genéticos

Segundo Moreira e Freitas (11), os AGs, também conhecidos como algoritmos evolutivos, são métodos heurísticos que se baseiam na teoria da evolução natural e aplicam-se a problemas de otimização com espaço de busca grande. Esses algoritmos exploram a sobrevivência dos indivíduos mais adaptados e do cruzamento dentro da população para gerar novos indivíduos. Isso ocorre de modo análogo à teoria evolutiva proposta por Darwin no seu trabalho sobre a evolução das espécies, em que uma população de indivíduos evolui ao longo do tempo sendo sujeita no seu todo a um conjunto de seleção e variação. Ao longo do tempo espera-se que a característica de todos os indivíduos da população tenha

⁴ Extraído de Costa (9)

mudado. Dessa forma, dizemos que a população evoluiu. Assim como no caso da evolução natural, os indivíduos têm um tempo de vida finito. A população sobrevive devido a um processo reprodutivo que se destina a criar novos indivíduos. A reprodução pode ser feita de maneira trivial, em que os novos indivíduos são cópias de seus progenitores, ou de modo aleatório, em que os novos indivíduos possuem características totalmente distintas de seus pais. Também como no caso natural, a variação comporta um elemento aleatório chamado de mutação.

Um fluxograma do AG é apresentado na figura 4.

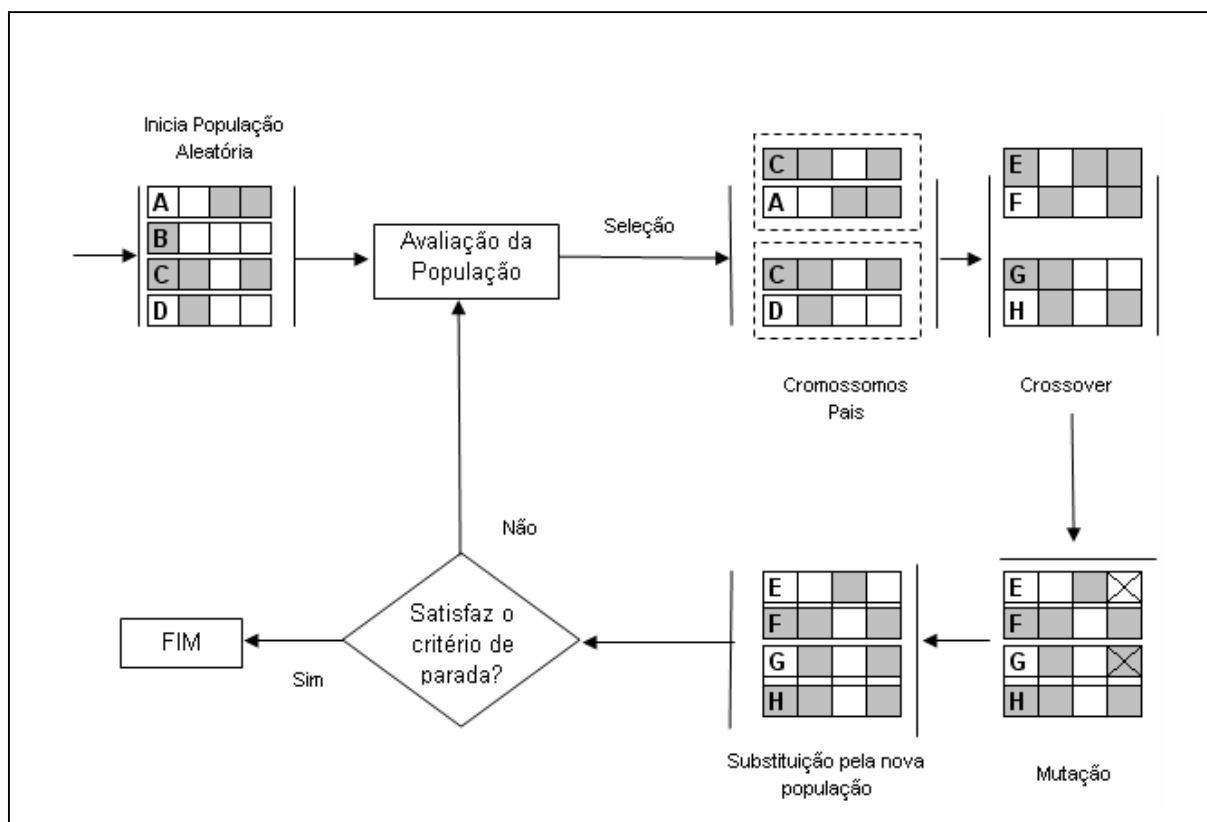


Figura 4 - Procedimento do Algoritmo Genético ⁵

⁵ Adaptado de Moreira e Freitas (11)

4 Modelagem do Problema

No presente capítulo, para a modelagem do problema, é apresentada uma abordagem em fases em vez da que considera, de modo simultâneo, todas as possibilidades de combinações dos elementos do problema, o que seria excessivamente penoso. Com isso, atingimos um razoável nível de simplificação na abordagem. A abordagem em fases consiste em quebrar o problema principal em quatro partes menores a serem resolvidas de modo estruturado e seqüencial.

Apresentamos, ainda neste capítulo, as necessidades dos interessados nos resultados da alocação juntamente com os requisitos, entradas, restrições e saídas do processo.

4.1 Estruturação do problema em fases

Encontrar a solução ótima para o problema proposto significa encontrar o melhor conjunto de combinações entre turmas, disciplinas, professores, calendários e salas. No entanto, a abordagem simultânea de todos esses elementos é uma tarefa bastante árdua, uma vez que o número de combinações é muito elevado. Por esse motivo, optou-se por dividir o problema em 4 fases, em cada uma das quais procura-se resolver um problema combinatório mais simples com a consideração de apenas dois elementos. Essa forma de estruturar o problema em fases está esquematizada na figura 5.

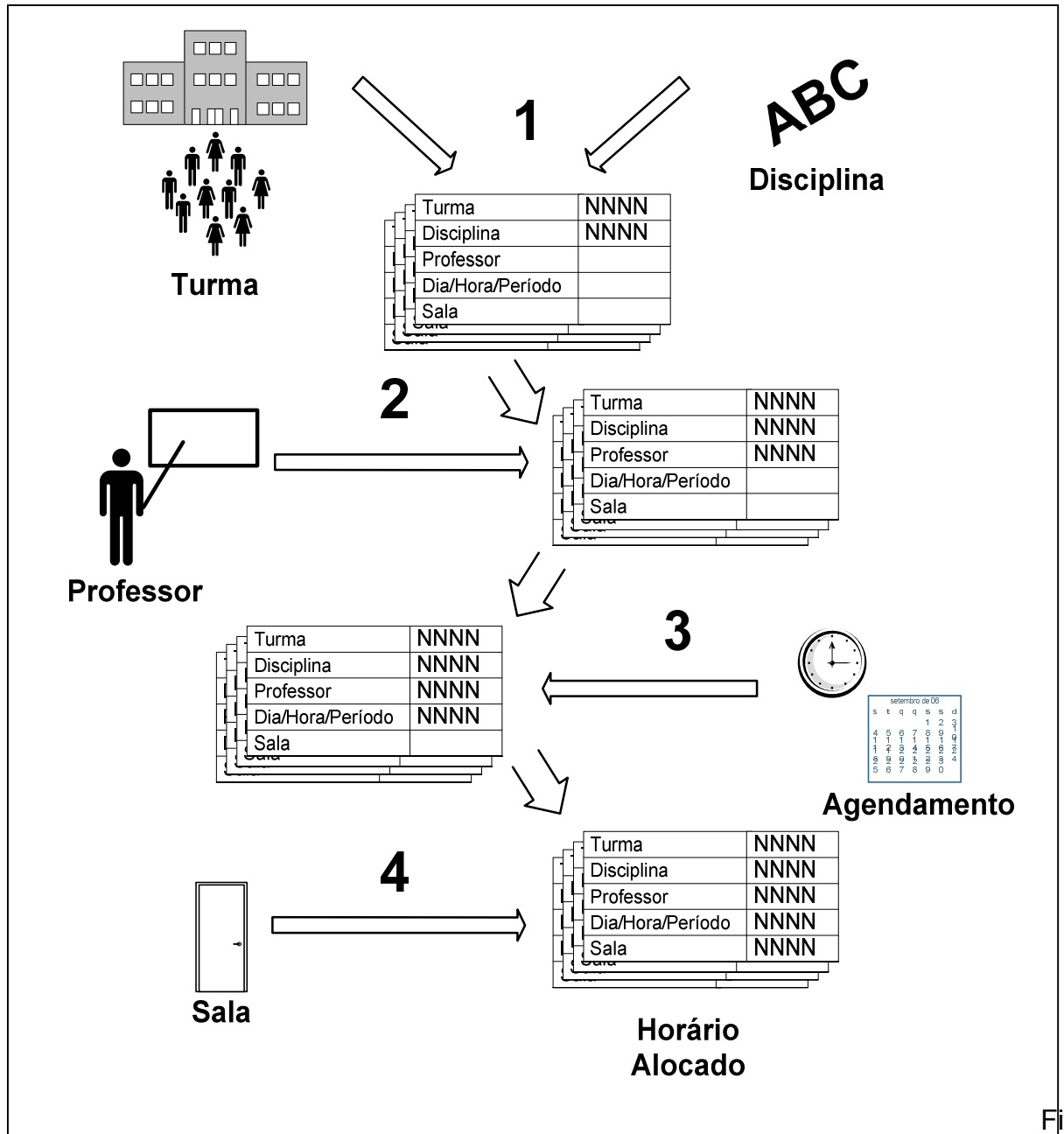


Figura 5 - Esquema da estruturação do problema em 4 fases

Em cada fase de alocação, conforme a figura 5, tem-se como entrada um elemento A (ou uma combinação de elementos) e toma-se uma decisão de escolha de um outro elemento B que melhor se adapte a A, segundo algum critério, para formar a combinação A-B, que por sua vez é utilizada como entrada para a próxima fase do processo.

Dessa forma, temos as seguintes fases:

Fase 1: Na primeira fase do processo, tendo-se uma dada turma a ser alocada, toma-se a decisão de escolha de uma disciplina que pertença à grade de disciplinas da turma e que ainda precise de plantão, para formar o par turma-disciplina.

Fase 2: Na segunda fase, tendo-se o par turma-disciplina, toma-se uma decisão da escolha do professor que julgamos, segundo um conjunto de critérios, ser o mais adequado para formar a tuple turma-disciplina-professor.

Fase 3: Na terceira fase, tendo-se a tuple turma-disciplina-professor, escolhe-se a melhor agenda para o plantão. A agenda é constituída da informação do dia da semana, hora de início do plantão e sua duração.

Fase 4: Na quarta fase do processo, tendo-se a tuple (turma-disciplina-professor) + agenda, escolhe-se uma sala da mesma unidade da turma para alocar o plantão. Ao final dessa fase, temos uma unidade de horário alocada.

O processo de alocação se dá através da repetição cíclica dessas quatro fases. Ao final de cada ciclo, temos uma unidade de horário alocada que segue a estrutura do exemplo apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 – Exemplo de uma unidade de horário alocada

Elemento de alocação	Descrição do conteúdo alocado
Turma	Turma geral de cursos da unidade Santo Amaro
Disciplina(s)	Matemática / Física / Química
Professor	Vinícius
Agenda	Segunda-feira das 14:00h às 20:00 h
Sala	A01 da unidade Santo Amaro

O processo continua até que uma das seguintes condições de parada seja encontrada:

- Condição 1: Todas as turmas já receberam o número de horas de plantão especificado para cada disciplina de sua estrutura curricular;
- Condição 2: Todos os professores já foram alocados em todas as suas disponibilidades e, portanto, não há mais professores disponíveis que possam ministrar monitoria para a turma;
- Condição 3: Os professores ainda possuem disponibilidade, porém não há mais intersecção entre a disponibilidade das turmas em receber plantões e a disponibilidade dos professores em ministrá-los;
- Condição 4: Não há mais salas disponíveis para a prática do plantão nos horários e dias (calendário) em que as turmas estão aptas a receberem plantões.

Uma vez definida a estrutura do problema em fases, faz-se necessário considerar quais seriam os melhores critérios para a tomada de decisão em cada uma das referidas fases. Uma escolha correta da combinação entre os elementos do problema, em cada fase, deve levar em consideração as expectativas e necessidades dos interessados em relação ao TT a ser gerado. Por esse motivo, passamos agora ao levantamento das necessidades dos interessados e análise dos requisitos e especificações do processo.

4.2 Levantamento das necessidades dos interessados

Em entrevista com alguns dos interessados no processo de alocação, foi-lhes perguntado o que eles esperam com relação ao horário gerado para o Plantão de Dúvidas. Os resultados deste levantamento, agrupados por interessado, são apresentados a seguir.

Necessidades declaradas pelos Alunos:

- Plantão ministrado em horários adequados para os alunos
- Distribuir o plantão de cada disciplina ao longo da semana

Necessidades declaradas pelos coordenadores do plantão de dúvidas:

- Baixo número de faltas e atrasos dos professores
- Distribuição uniforme do número de horas de plantão entre os professores
- Carga horária para todos os professores maior que a mínima esperada
- Distribuição da carga horária do plantão de acordo com o número de alunos das unidades
- Prioridade das unidades mais importantes
- Professores mais antigos devem ter prioridade

Necessidades declaradas pelos coordenadores das unidades:

- Plantão de todas as disciplinas requeridas pela unidade e de acordo com um número de horas mínimo esperado

Necessidades declaradas pelos professores:

- Possibilidade de escolher a unidade de preferência em determinado dia
- Carga horária não menor que a do semestre passado
- Inexistência de deslocamentos diários entre unidades
- Um professor não deve ser alocado a poucas horas em determinado dia

4.2.1 Diagrama de causa e efeito

Com base nas informações levantadas, passou-se à análise dos requisitos do processo de alocação. Em primeiro lugar considerou-se a relação entre as possíveis causas da geração de um horário de má qualidade. Essa relação pode ser visualizada no diagrama de causa e efeito apresentado na figura 6.

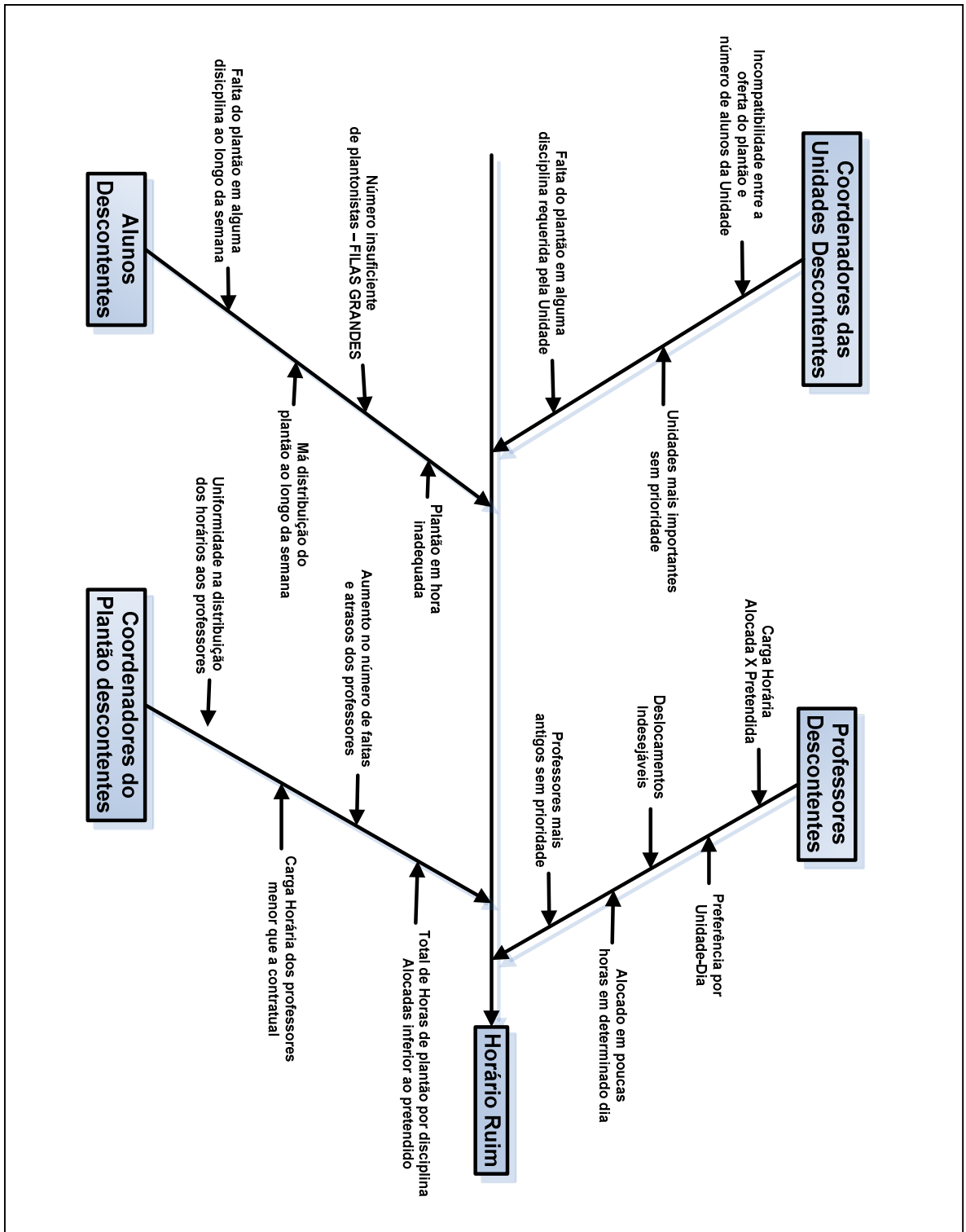


Figura 6 - Diagrama de causa e efeito de um horário de má qualidade

4.3 Especificações do processo

A partir das necessidades dos interessados levantadas, podemos definir as especificações do processo para supri-las. No quadro 3 apresentamos uma lista que relaciona as necessidades supracitadas dos interessados com as especificações modeladas a serem utilizadas pelo processo.

Quadro 3 – Relação entre especificações e necessidades dos interessados

Interessados	Necessidades Declaradas	Especificações do Modelo
Alunos	Plantão ministrado em horários adequados	Fazer a alocação de acordo com o calendário de disponibilidade das turmas
	Distribuir o plantão de cada disciplina ao longo da semana	Restringir o número de professores simultâneos para uma melhor distribuição ao longo da semana
Coordenadores do plantão de dúvidas	Baixo número de faltas e atrasos dos professores	Fazer a alocação de acordo com o calendário de disponibilidade dos professores
		Permitir a especificação de período mínimo para que os professores possam se deslocar entre unidades
	Distribuição uniforme do número de horas de plantão entre os professores	Distribuir o número total de horas de plantão de forma equilibrada e ponderada pela importância do professor
	Carga horária para todos os professores maior que a mínima esperada	Permitir que seja especificada, para cada professor, uma carga horária mínima esperada para alocação
	Distribuição da carga horária do plantão de acordo com o número de alunos das unidades	Fazer a alocação de acordo com a carga horária especificada de cada disciplina para as turmas
	Prioridade das unidades mais importantes	Permitir a atribuição de um peso a cada unidade e priorizar as que tiverem um peso maior

	Professores antigos devem ter prioridade	Permitir a atribuição de um peso a cada um dos professores e priorizar a alocação dos que tiverem maior peso
Coordenadores das unidades	Plantão de todas as disciplinas requeridas pela unidade e de acordo com um número de horas mínimo esperado	Fazer a alocação segundo um número de horas mínimo especificado para cada disciplina e turma (unidade)
Professores	Possibilidade de escolher a unidade de preferência em determinado dia	Permitir que possa ser atribuída a unidade de escolha do professor em cada período de plantão e levar esse atributo em consideração na alocação
	Carga horária não menor que a do semestre passado	Permitir que seja digitado como dado de entrada uma carga mínima esperada para cada professor
	Inexistência de deslocamentos diários entre unidades	Procurar fazer a alocação buscando gerar um horário com um número baixo de deslocamentos diários
	Um professor não deve ser alocado em poucas horas em determinado dia	Permitir que seja especificado como dado de entrada um valor mínimo de horas a serem alocadas a cada período de plantão e fazer a alocação procurando respeitar esse critério

4.4 Entradas, Restrições e Saídas do Processo

Para a caracterização do problema apresentamos os dados de entrada, as restrições e as saídas do processo de alocação. Os dados de entrada caracterizam-se como as informações de que dispomos no início do processo, as restrições do problema são as condições que devem ser levadas em consideração na montagem do horário e as saídas referem-se aos produtos da alocação. Nas seções a seguir, apresentamos as entradas, restrições e saídas do processo.

4.4.1 Entradas

Como informações iniciais para o planejamento do horário, temos as seguintes entradas:

4.4.1.1 Dados sobre os professores

Disponibilidade dos professores: caracterizam-se como os dias e horários em que cada professor estará disponível para ministrar plantões.

Especialidade dos professores: caracteriza-se como o conjunto de disciplinas nas quais o professor está habilitado a ministrar plantão.

Carga horária mínima esperada a ser alocada: é o número de horas mínimo em que cada professor espera ser alocado. Esse valor corresponde ao número de horas alocado no semestre anterior.

Preferência dos professores pelas unidades: o professor poderá declarar sua preferência por determinada unidade em cada horário de sua disponibilidade. Em caso da não declaração de sua preferência, considerar-se-á que o professor é indiferente em relação à unidade em que prestará plantões.

Peso do professor na alocação: esse dado de entrada se refere à importância de cada professor. Desse modo os professores mais antigos entram com um peso maior na alocação do que os mais novos. O peso para cada professor é dado pelos coordenadores do plantão. A alocação irá priorizar as preferências e necessidades dos professores de maior peso.

Preferência dos professores pelas disciplinas: espera-se usar esse critério num futuro próximo, quando cada professor só será responsável por ministrar plantões em apenas uma disciplina por plantão. Hoje, os professores de exatas, por exemplo, ministram plantões de Matemática, Física e Química num mesmo período.

4.4.1.2 Dados sobre as Unidades

Peso de cada unidade na alocação: as unidades mais importantes, como Paulista e Santo Amaro, devem ter prioridade na alocação. Isso será considerado de acordo com o peso dado pelos coordenadores do plantão à unidade.

4.4.1.3 Dados sobre as disciplinas

Conjunto de disciplinas ministradas no plantão de dúvidas com suas abreviações para a impressão dos resultados.

4.4.1.4 Dados sobre as turmas

Unidade-escola: unidade à qual pertence a turma que irá receber plantão. No caso do plantão de dúvidas, a entidade **turma** representa, na verdade, todas as turmas de determinada unidade-escola.

Calendário das Turmas: representa os horários em que as turmas estarão aptas a receber plantões.

Disciplinas que devem ser ministradas para cada turma: as unidades de cursos pré-vestibulares têm plantão em todas as disciplinas, enquanto o colégio costuma ter plantão apenas das disciplinas exatas.

4.4.1.5 Dados sobre as salas

Dados das salas: nome, capacidade e unidade-escola a que pertence.

Disponibilidade das salas: caracteriza-se pelos horários em que a sala estará apta ou não para ser utilizada.

4.4.1.6 Dados sobre as janelas

A janela de alocação se caracteriza por um dia, hora de início da janela e período mínimo de tempo. No caso do plantão de dúvidas, o período mínimo é de uma hora. Corresponde a janela, portanto, uma unidade mínima de tempo para alocação.

4.4.1.7 Dados sobre os Períodos

Caracteriza cada período de cada dia da semana. A necessidade dessa entidade decorre do fato de as disponibilidades dos professores, turmas e salas serem dadas por período e não por janela, isso com a intenção de facilitar o apontamento da disponibilidade e garantir maior homogeneidade da mesma. Dessa forma, por exemplo, se o professor aponta a disponibilidade para o período segunda-feira de manhã, estará automaticamente disponível para as janelas:

- Janela 1: Segunda-feira das 8:00h às 9:00h

- Janela 2: Segunda-feira das 9:00h às 10:00h
- Janela 3: Segunda-feira das 10:00h às 11:00h
- Janela 4: Segunda-feira das 11:00h às 12:00h
- Janela 5: Segunda-feira das 12:00h às 13:00h

4.4.1.8 Dados Gerais da Alocação

Os dados gerais para a alocação determinam as seguintes informações sobre o modo pelo qual o horário dos professores será montado.

Número de janelas reservadas para deslocamento: essa informação será utilizada para o caso em que um professor tiver de se deslocar, em determinado dia, de uma unidade para outra. Nesse caso, o sistema gerador do horário só irá permitir que o professor seja alocado a uma janela de outra unidade posterior em tantas janelas de tempo quanto o número que estiver preenchido em “número de janelas reservadas para deslocamento”.

Número de janelas por dia: esta informação de entrada contém o número total de janelas de tempo permitidas em um único dia. Tal informação será necessária para o agrupamento das janelas em um mesmo dia.

Mínimo de janelas em seqüência a alocar: no Plantão de Dúvidas, não é interessante que o professor seja alocado apenas em um curto espaço de tempo para uma turma, mas sim a uma seqüência de um número mínimo de janelas de tempo. Esse número mínimo é especificado no dado de entrada “Mínimo de janelas em seqüência a alocar”.

Na tabela 3, apresentamos as informações gerais para a geração do horário com os campos já devidamente preenchidos.

Quadro 4 – Dados gerais de entrada

Informações Gerais	Valor
Número de Janelas p/ Deslocamento	3
Número de Janelas por Dia	14
Mínimo de janelas em sequência a alocar	2

4.4.1.9 Grau de importância dos critérios de alocação dos professores

Em cada iteração da fase construtiva da alocação, é preciso escolher um professor para a combinação de Turma-Disciplina. Essa escolha irá se basear em cinco critérios, sendo que, como dado de entrada, temos a informação da hierarquia de importâncias destes. O valor 1 representa o critério mais importante, o valor 2 o segundo mais importante e assim sucessivamente até o valor 5 que representa o critério menos importante para a escolha do professor a combinar com o par Turma-Disciplina.

Na tabela 4, apresentamos os critérios de alocação dos professores com a estrutura hierárquica já devidamente preenchida. A seguir, comentamos o significado de cada um desses critérios.

Quadro 5 – Critérios para alocação dos professores

Critérios de Alocação dos Professores	Ordem de Importância
Compatibilidade entre Professor e Turma	1
Carga Horária do Professor	2
Preferência dos Professores por Unidades	3
Peso dos Professores	4
Preferência dos Professores pelas Disciplinas	5

Compatibilidade entre Professor e Turma: refere-se à compatibilidade entre as disponibilidades respectivas de cada professor em ministrar plantão e de cada turma em receber aulas. Dessa forma, será escolhido o professor cujo “Calendário de Disponibilidade” tiver o maior número de intersecção de seqüência de janelas com o “Calendário das Turmas”. Além disso, pontos adicionais de compatibilidade são dados àqueles professores que preferirem dar aula na unidade considerada ou que forem indiferentes. Como esse critério tem a primeira ordem de importância (Vide Quadro 5), ele é o determinante da escolha do professor para o par Turma-Disciplina.

Carga Horária do Professor: Segundo esse critério, em caso de empate de professores com relação à “Compatibilidade entre Professor e Turma”, será escolhido o professor com a maior diferença entre a “Carga Horária Contratual” e o número de horas já alocado.

Preferência dos Professores por Unidades: Em caso de empate pelo critério anterior, será escolhido o professor que tiver declarado preferência em ministrar plantão naquele horário na unidade considerada, em detrimento dos que tiverem declarado preferência por outra unidade ou que forem indiferentes em relação à unidade.

Peso dos Professores: No caso de empate nos critérios anteriores, ou seja, mais de um professor com a mesma compatibilidade, mesma carga horária ainda a alocar e mesma preferência em relação à unidade, será escolhido o professor que tiver o maior “Peso” para a alocação. Esse dado de entrada é definido pelos coordenadores do Plantão de Dúvidas.

Preferência dos Professores pelas Disciplinas: Esse critério não é relevante para o Plantão de Dúvidas, uma vez que os professores ministram monitoria de todas as disciplinas em que estão habilitados, concomitantemente, em um mesmo período. A razão de se manter esse critério se relaciona às alterações previstas para o futuro, quando se espera que cada professor ministre plantões de apenas uma disciplina por período.

4.4.2 Restrições do problema

Uma determinada solução para o problema só será considerada viável se satisfizer as seguintes restrições apresentadas no quadro 6:

Quadro 6 – Restrições do problema

Nº. da restrição	Descrição
Restrição 1:	Um professor não poderá ser alocado para duas turmas (Unidades) ao mesmo tempo.
Restrição 2:	Não poderá haver alocação de determinado professor para ministrar plantão em um horário fora de sua disponibilidade.
Restrição 3:	Cada professor só estará apto a ministrar plantão em disciplinas que forem da sua especialidade.
Restrição 4:	A uma determinada turma (unidade-escola) só poderão ser alocados horários de plantão nos horários em que a turma estiver disponível para isso.
Restrição 5:	Um deslocamento de professor de uma unidade-escola para outra só será permitido se decorrer um período de tempo reservado para o deslocamento e explicitado no dado de entrada “Número de Janelas para Deslocamento”.
Restrição 6:	Não será permitido um número simultâneo de plantonistas de uma mesma matéria, para determinada turma, maior que o especificado no dado de entrada “Número Máximo de Professores Simultâneos”
Restrição 7:	Uma sala não poderá ser alocada para o plantão num horário em que não esteja disponível para isso.
Restrição 8:	O número total de professores x horas de plantão não pode exceder um máximo especificado para cada turma.
Restrição 9:	Um professor não poderá ser alocado a um horário com número de janelas de tempo em sequência menor que o especificado no dado de entrada “Mínimo de Janelas em Sequência a alocar” ⁶
Restrição 10:	Para cada turma só poderão ser ministradas aulas dentro da sua especificação nos dados de entrada “Disciplinas por Turma”

⁶ Conforme será apresentado posteriormente, essa condição diz respeito ao algoritmo construtivo, o algoritmo de melhoria irá priorizar o aumento da carga horária do professor com déficit de horas em detrimento dessa restrição.

4.4.3 Saídas

As saídas do processo de alocação são:

- Saída 1: O TT gerado
- Saída 2: O desvio entre a carga horária nominal de cada turma e a carga efetivamente alocada para cada disciplina.
- Saída 3: O desvio entre a carga horária nominal (contratual) de cada professor e a carga horária efetivamente alocada.
- Saída 4: O desvio entre a preferência declarada por cada professor e o que foi efetivamente alocado, informando se a preferência foi desrespeitada ou não.
- Saída 5: Número de deslocamentos diários de cada professor, de uma unidade-escola para outra. Será considerado de melhor qualidade um horário que tiver poucos deslocamentos ou deslocamentos inexistentes de professores.

5 Estruturação da base de dados

Para automatizar o processo de alocação, inicialmente se criou uma base de dados que será utilizada pelo sistema a ser desenvolvido. Nessa base, as informações foram agrupadas em categorias e distribuídas nas tabelas de forma normalizada, tendo como finalidade evitar a duplicidade de informações e basear-se na idéia de que cada informação deve estar em um único local na base de dados. Tal maneira de organizar os dados economiza memória, facilita a atualização dos dados e evita erros de sincronização. Segundo o conceito de normalização, apenas campos relacionais, conhecidos como chaves primárias e estrangeiras (normalmente códigos numéricos), podem ser duplicados. Para que a normalização seja eficiente, surge a necessidade de outro conceito, o de relacionamento. O relacionamento constitui um meio de identificar informações relacionadas a uma dada tabela, mas que estão na verdade em outras tabelas por causa da normalização.

No relacionamento utilizado nessa modelagem, as tabelas foram agrupadas de forma hierárquica em dois tipos, que denominaremos de tabelas “pais” e de tabelas “filhas”. Como exemplo de tabela pai, temos a tabela de unidades, e como exemplo de tabela filha, temos a tabela de turmas. Essa relação é do tipo um para muitas, ou seja, uma mesma unidade (pai) pode possuir muitas turmas (filhas). No entanto cada turma (filha) só pertence a uma unidade (pai). Então suponha que, por exemplo, queiramos saber o nome da unidade em que determinada turma de alunos se localiza. Essa informação não está na tabela de turmas, por causa da normalização. Então, como obtê-la? Para responder a essa pergunta, recorreremos ao conceito de chave primária e chave estrangeira. A chave primária é um índice que identifica univocamente um registro em determinada tabela. Num relacionamento entre tabelas, a uma chave primária da tabela pai se relaciona uma chave estrangeira na tabela filha, com o mesmo valor preenchido. Assim, podemos responder à pergunta anterior da seguinte forma: para encontrar o nome da unidade à qual pertence a turma, em primeiro lugar encontramos o registro correspondente à turma na tabela de turmas e anotamos como **X** o conteúdo da chave estrangeira “Código da Unidade”. Em seguida, na tabela de unidades, procuramos pelo registro

que tenha o mesmo valor **X** em sua chave primária: “Código da Unidade”. A informação que procurávamos estará no conteúdo do atributo “Nome da Unidade” desse mesmo registro. O que acabamos de descrever está esquematizado na figura 7 abaixo.

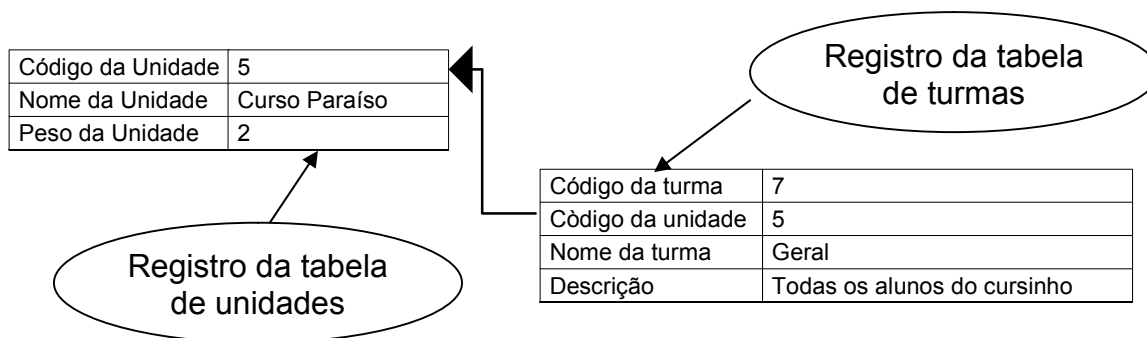


Figura 7 - Ligação entre chave primária e chave estrangeira

5.1 Tabelas e Atributos

Nesta seção, apresentamos e descrevemos todas as tabelas normalizadas que constituem a base de dados, juntamente com suas estruturas e atributos.

5.1.1 Tabela de professores

A tabela de professores contém as informações gerais sobre os professores que ministram os plantões. Existem professores, conforme as necessidades levantadas, que devem ter prioridade no processo de alocação (normalmente por serem mais antigos). Para registrar a hierarquia de prioridades entre os professores foi criado o atributo “Peso do professor” na tabela de professores. Quanto maior o valor desse atributo, maior será a prioridade dada ao professor pelo sistema em

relação aos outros. A estrutura da tabela de professores, com atributos, tipos de dados e descrição é apresentada no quadro 7.

Quadro 7 – Estrutura da tabela de professores

Atributo	Tipo	Descrição
Código do professor	long	Chave Primária - índice de identificação de cada professor
Nome de horário	string	Nome a ser impresso no horário do professor
Carga horária mínima	single	Carga horária mínima a ser alocada para o professor
Peso do professor	integer	Carga horária mínima a ser alocada para o professor

5.1.2 Tabela de unidades

As unidades são escolas da rede **Objetivo** onde os plantões são efetivamente ministrados. Há unidades que necessitam ser consideradas com maior prioridade no processo de alocação porque possuem mais alunos do que as outras, ou por causa de algum motivo estratégico. Dessa forma, na estrutura da tabela de unidades foi criado o campo “Peso da unidade”. Quanto maior o valor desse atributo, mais a unidade relacionada terá prioridade na alocação. No quadro 8 apresentamos a estrutura da tabela de unidades.

Quadro 8 – Estrutura da tabela de unidades

Atributo	Tipo	Descrição
Código da unidade	long	Chave Primária - Código de identificação da Unidade
Nome	string	Nome da Unidade
Peso da unidade	integer	Peso de importância da unidade na alocação

5.1.3 Tabela de disciplinas

A finalidade da tabela de disciplinas é conter os registros de todas as disciplinas a serem ministradas no plantão de dúvidas. A estrutura da tabela de disciplinas é apresentada no quadro 9.

Quadro 9 – Estrutura da tabela de disciplinas

Atributo	Tipo	Descrição
Código da disciplina	long	Código de identificação da disciplina
Nome abreviado	string	Nome abreviado da disciplina a ser impresso no horário
Nome completo	integer	Nome completo da disciplina

5.1.4 Tabela de turmas

As turmas, como utilizadas nessa modelagem, são entidades abstratas que representam conjuntos de alunos agrupados segundo algum critério. Sendo assim, uma turma pode ser, por exemplo, um conjunto de alunos do 3º colegial que assistam aulas simultaneamente e numa mesma sala ou o conjunto de todos os alunos de 3º colegial da unidade Paulista. Essa forma de abordagem tem a função de deixar a modelagem o mais genérica possível, de modo que a mesma estrutura possa ser utilizada para outro problema, como, por exemplo, a alocação de professores às turmas do 3º colegial. Na modelagem para o plantão de dúvidas, no entanto, as turmas serão consideradas como agrupamentos que representam todos os alunos de determinada unidade, de modo que haja apenas uma turma por unidade. Esse modo de classificação das turmas se mostra adequado às necessidades do problema, uma vez que os plantões são acessíveis

simultaneamente por todos os alunos de determinada unidade. A estrutura da tabela de turmas é apresentada no Quadro 10.

Quadro 10 – Estrutura da tabela de turmas

Atributo	Tipo	Descrição
Código da turma	long	Chave Primária - Código de identificação da turma
Código da Unidade	long	Chave Estrangeira - Código de identificação da unidade
Nome	string	Nome da turma
Descrição	string	Descrição da turma

5.1.5 Tabela de salas

A tabela de salas contém as informações das salas que efetivamente serão alocadas para os plantões. No caso do Plantão de Dúvidas, a modelagem dessa entidade não é tão relevante, uma vez que as unidades já possuem uma sala reservada exclusivamente para prática dos plantões. No entanto, para tornar o aplicativo mais genérico, considerou-se também a entidade sala na alocação. Dessa forma, o mesmo aplicativo poderá ser utilizado para a resolução de outros problemas de alocação, além de permitir, mesmo no caso do plantão de dúvidas, que eventualmente uma sala de plantão seja registrada como indisponível em algum dia, como, por exemplo, para limpeza, ou por estar reservada para outra atividade. A estrutura da tabela de salas é apresentada no quadro 11.

Quadro 11 – Estrutura da tabela de salas

Atributo	Tipo	Descrição
Código da sala	long	Chave primária - Código de identificação da sala
Código da unidade	long	Chave estrangeira - Código da unidade a qual a sala pertence
Descrição	string	Descrição de características relevantes das salas
Capacidade da sala	integer	Número de alunos que suporta

5.1.6 Tabela de janelas

A tabela de janelas contém os registros com informações sobre as janelas de tempo usadas na alocação. Uma janela de tempo é definida nesse trabalho como sendo um intervalo mínimo de tempo passível de alocação e agendado para algum dia e hora da semana. Para o problema do plantão de dúvidas, considerou-se a unidade mínima para alocação dos plantonistas como sendo um intervalo de uma hora, mas os atributos “Hora de início” e “Hora de término” podem ser alterados, dando ao aplicativo a flexibilidade de ser utilizado para intervalos de tempo diferentes do considerado. A estrutura da tabela de janelas é apresentada no quadro 12.

Quadro 12 – Estrutura da tabela de janelas

Atributo	Tipo	Descrição
Código da janela	long	Chave primária - Código de identificação da janela
Dia	integer	Código do dia da semana
Hora de início	date	Hora de início da janela
Hora de término	date	Hora de término da janela

5.1.7 Tabela do calendário dos professores

A tabela do calendário dos professores contém informações sobre as disponibilidades dos mesmos, ou seja, se os professores estarão disponíveis ou não em cada janela de tempo para ministrar plantões. Essa tabela é dada como uma relação entre as entidades professores e janelas. Além disso, a tabela de calendário de professores contém o atributo “Unidade de preferência” que especifica a unidade em que o professor gostaria de dar aula em determinada janela de tempo, o que está de acordo com as necessidades levantadas dos interessados no processo de alocação. A estrutura da tabela do calendário dos professores é apresentada no quadro 13.

Quadro 13 – Estrutura da tabela de calendário dos professores

Atributo	Tipo	Descrição
Código do professor	long	Chave estrangeira - código de identificação do registro de calendário
Código da janela	long	Chave estrangeira - código de identificação da janela de disponibilidade do professor
Disponível	boolean	0 - professor indisponível; 1 - professor disponível
Unidade de preferência	long	Código da unidade de preferência do professor ou 0 no caso de o professor ser indiferente à unidade

5.1.8 Tabela de disciplinas por professor

A tabela de disciplinas por professor contém as informações que definem as habilitações dos professores, ou seja, em quais disciplinas cada um deles está habilitado a dar plantões. Além disso, essa tabela possui informações sobre a preferência dada pelo professor para cada uma das disciplinas de sua habilitação.

No caso do plantão de dúvidas, essa preferência não é um fator importante na alocação, pois os professores tiram dúvidas de todas as disciplinas de sua habilitação indiscriminadamente. No entanto, há a intenção de, no futuro, cada professor ministrar apenas uma disciplina por período de plantão. Nesse caso o sistema levará em consideração o atributo “Peso da preferência” que conterà valores distintos por registro de disciplina (hoje um mesmo peso deve ser cadastrado para todas as disciplinas da habilitação do professor). A estrutura da tabela de disciplinas por professor é apresentada no quadro 14.

Quadro 14 – Estrutura da tabela de disciplinas por professor

Atributo	Tipo	Descrição
Código da disciplina	long	Chave estrangeira - Código de identificação da disciplina
Código do professor	long	Chave estrangeira - Código de identificação do professor
Peso pref.	integer	Peso dado pela preferência do professor pela disciplina

5.1.9 Tabela do calendário das turmas

A tabela de calendário das turmas traz informações sobre as janelas de tempo (dias e horários) em que as turmas estarão disponíveis para receberem plantões. Essa tabela é dada como produto da relação entre as entidades turmas e janelas. A estrutura da tabela do calendário das turmas é apresentada no quadro 15.

Quadro 15 – Estrutura da tabela de calendário das turmas

Atributo	Tipo	Descrição
Código da Turma	long	Chave estrangeira - Código de identificação da turma
Código da janela	long	Chave estrangeira - Código de identificação da janela de disponibilidade
Disponível	boolean	0 – turma indisponível; 1 - turma disponível

5.1.10 Tabela das disciplinas por turma

A tabela de disciplinas por turma informa quais são as disciplinas pertencentes a grade de cada turma e também qual o número de horas de plantão das disciplinas. No plantão de dúvidas, o conjunto de disciplinas ministrado para as unidades é diferente, pois as unidades de colégio, normalmente, têm plantões apenas das disciplinas de exatas (Matemática, Física e Química), e as unidades de cursos pré-vestibulares possuem plantões de todas as disciplinas. A distribuição do número de horas de cada disciplina entre as unidades também varia bastante, pois é baseada no número de alunos das mesmas. Outra característica da tabela de disciplinas por turma é que ela traz a informação do número máximo de professores simultâneos que podem ministrar plantão nas mesmas disciplinas para a mesma turma. A necessidade de professores simultâneos das mesmas disciplinas decorre do fato de que algumas unidades, como Paulista e Santo Amaro, possuem uma procura muito alta pelo plantão, podendo gerar filas muito grandes pela falta de professores. Nessas unidades é comum existirem 3 ou 4 professores simultâneos do mesmo conjunto de habilitações (Matemática-Química-Física, por exemplo). A estrutura da tabela de disciplinas por turma é apresentada no quadro 16.

Quadro 16 – Estrutura da tabela de disciplinas por turma

Atributo	Tipo	Descrição
Código da turma	Long	Chave estrangeira – Código de identificação da turma
Código da disciplina	Long	Chave estrangeira – Código de identificação da unidade
Carga horária	Single	Quantidade de horas de plantão requerida da disciplina para a turma
Máximo de prof. Simultâneo	Integer	Número máximo de professores com as mesmas habilitações (que ministram as mesmas disciplinas)

5.1.11 Tabela do calendário das salas

A tabela do calendário das salas traz informações sobre as disponibilidades destas em serem alocadas para os plantões. Essa tabela é fruto do relacionamento entre as entidades salas e janelas. No quadro 17 abaixo apresentamos a estrutura da tabela do calendário das salas.

Quadro 17 – Estrutura da tabela do calendário das salas

Atributo	Tipo	Descrição
Código da sala	long	Chave estrangeira - código de identificação da sala
Código da janela	long	Chave estrangeira - código de identificação da janela de disponibilidade
Disponível	boolean	0 - sala indisponível; 1 – sala disponível

5.1.12 Tabela de períodos

A tabela de períodos tem por finalidade agrupar as janelas de tempo em períodos maiores. Isso ocorre porque as disponibilidades dos professores, turmas e salas não são dadas em janelas, mas em períodos consideravelmente maiores, com a finalidade de facilitar o preenchimento das informações para os professores e coordenadores do plantão. Para a resolução da alocação do plantão de dúvidas, foram utilizados 18 períodos de tempo que agrupam um total de 84 janelas. O aplicativo irá traduzir os períodos de tempo em janelas durante a execução da alocação, de forma que a unidade de alocação continua sendo uma janela de tempo. A estrutura da tabela de períodos é apresentada no quadro 18 abaixo.

Quadro 18 – Estrutura da tabela de períodos

Atributo	Tipo	Descrição
Código do período	long	Chave primária - código de identificação do período
Nome Período	string	Nome descritivo do período ex.: Segunda-feira de manhã
Janela de início	long	Código da janela que marca o início do período
Janela de término	long	Código da janela que marca o término do período

5.2 Diagramas de relacionamentos

Uma vez apresentadas as tabelas que foram modeladas para o problema surge a necessidade de definir os relacionamentos existentes entre elas. Esses são apresentados nas figuras a seguir.

5.2.1 Professores, disciplinas e disciplinas por professor

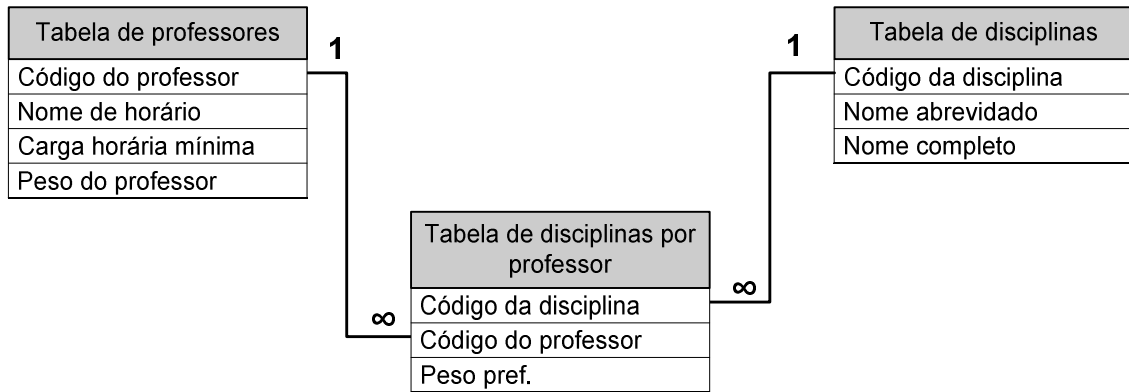


Figura 8 - Relacionamento entre professores, disciplinas e disciplinas por prof.

5.2.2 Professores, janelas e calendário dos professores

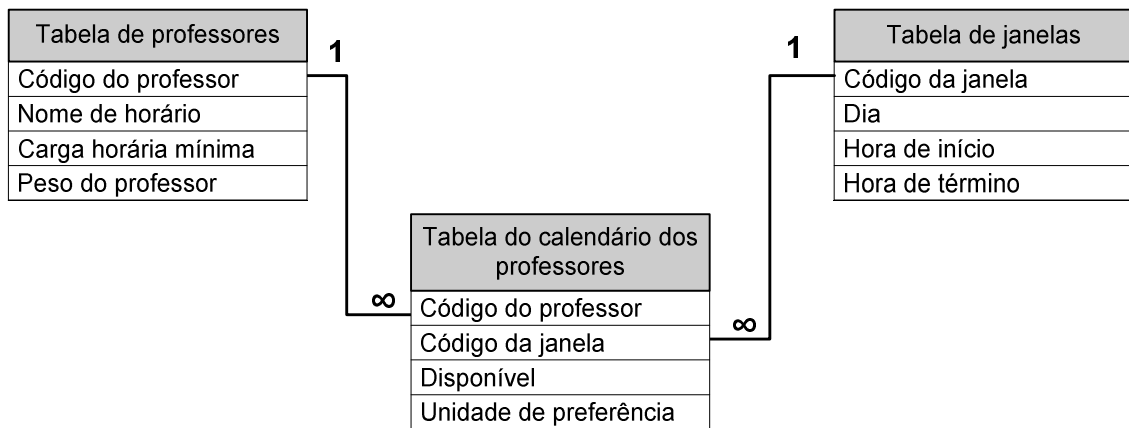


Figura 9 - Relacionamento entre professores, janelas e calendário

5.2.3 Turma, disciplinas e disciplinas por turma

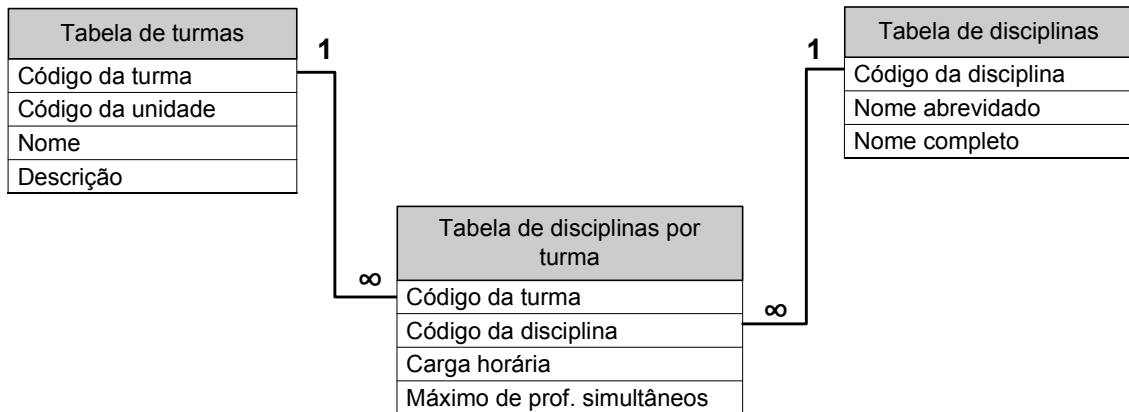


Figura 10 - Relacionamento entre turmas, disciplinas e disciplinas por turma

5.2.4 Turmas por unidade

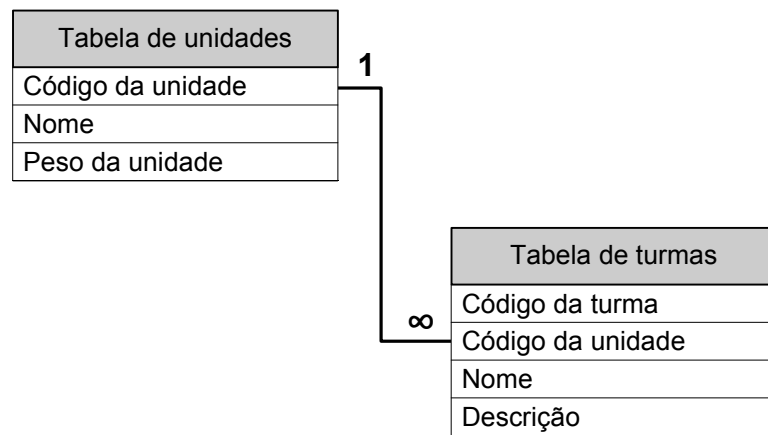


Figura 11 - Relacionamento entre unidades e turmas

5.2.5 Calendário das turmas

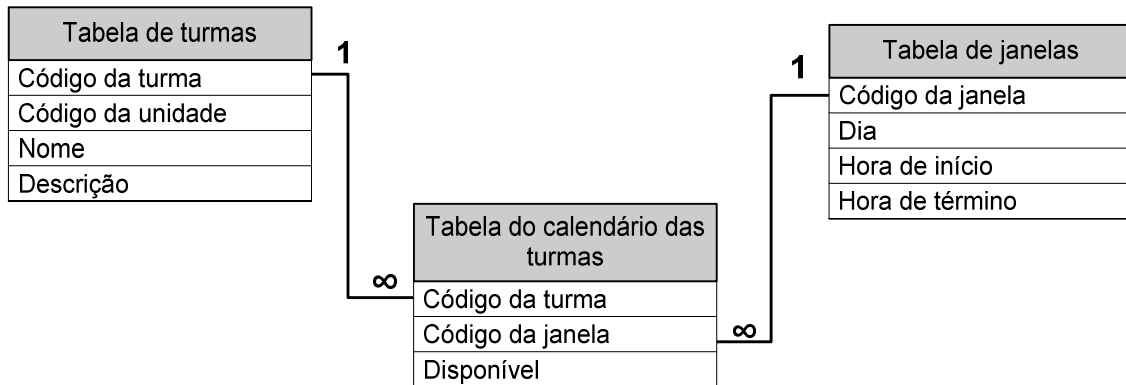


Figura 12 - Relacionamento entre turmas, janelas e calendário

5.2.6 Calendário das salas

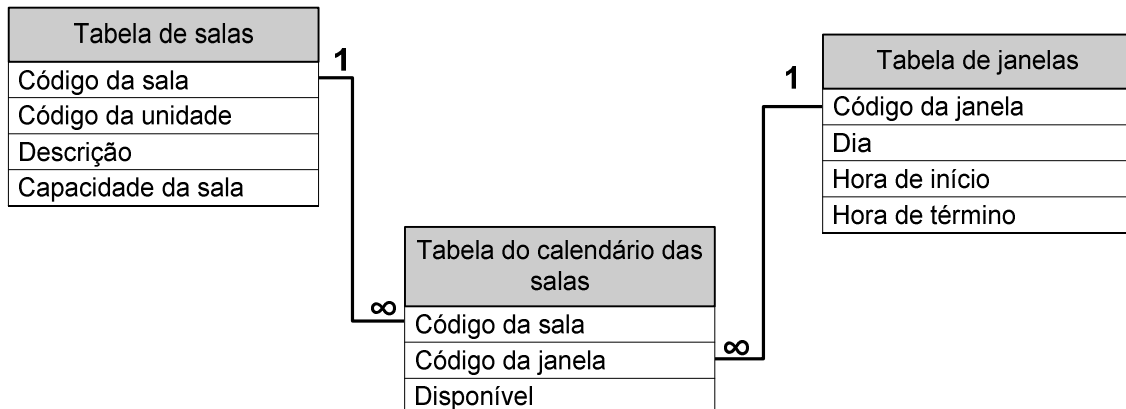


Figura 13 - Relacionamento entre salas, janelas e calendário das salas

5.2.7 Salas por unidade

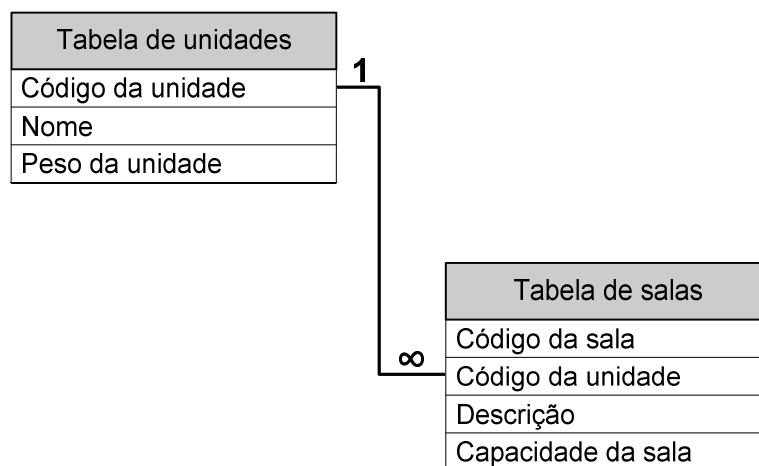


Figura 14 - Relacionamento entre unidades e salas

6 O Algoritmo de Resolução

Dada a dificuldade conhecida na literatura em se resolver problemas de TT com o uso de algoritmos otimizantes (tempo de processamento computacional excessivamente longo), optamos por um tratamento heurístico para a resolução. Para isso, utilizamos dois algoritmos que trabalham em conjunto. O primeiro contém uma heurística construtiva e o segundo uma heurística de melhoria. A forma como os dois algoritmos interagem entre si baseia-se no procedimento GRASP (*Greedy Randomized Adaptive Search Procedure*). Conforme descrito no capítulo de revisão bibliográfica deste trabalho (seção 3.3), o procedimento de busca adaptativa gulosa e randomizada estrutura-se em duas fases. A primeira fase consiste na construção de uma solução inicial, elemento por elemento. É nessa fase que o algoritmo construtivo atua. A segunda fase consiste num procedimento de pesquisa em profundidade que procura um ótimo local na vizinhança da solução construída. É nessa fase que o algoritmo de melhoria se faz presente.

Em cada iteração na fase construtiva do algoritmo, elaboramos uma lista dos elementos a serem agregados à solução que está sendo construída. Essa lista é ordenada pela contribuição relativa dos elementos ao valor da função objetivo. Utiliza-se então um parâmetro $\alpha \in \{0,1\}$ para a escolha dos elementos, sendo que para $\alpha \in [0.4;1)$ tem-se um comportamento guloso, ou seja, escolhe-se o próximo da lista na seqüência, e para $0 \leq \alpha < 0.4$ um comportamento aleatório.

Ao final de cada iteração, o valor da função objetivo calculado para a melhor solução encontrada na última iteração é comparado com o melhor valor para a função objetivo até o momento. Se $f(s) < f(s^*)$, carregamos a melhor solução s^* com s .

O fluxograma com o algoritmo baseado no procedimento GRASP utilizado para a resolução do problema é apresentado na figura 15.

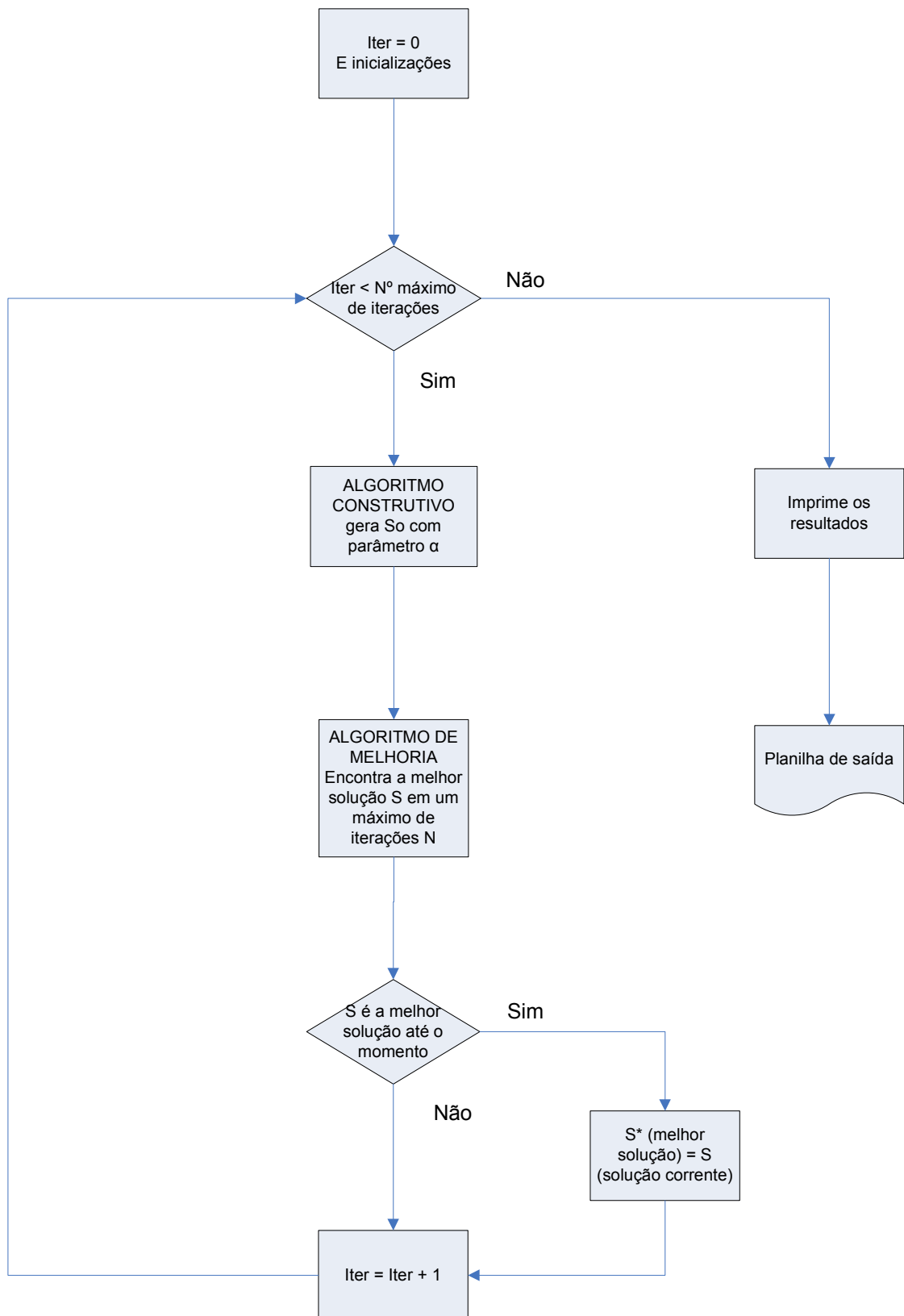


Figura 15 - Fluxograma do algoritmo GRASP utilizado

6.1 Função Objetivo

Para a modelagem da função objetivo, consideraram-se 4 critérios como sendo representativos para a análise de um horário de boa qualidade. Os quatro critérios são:

- Critério 1: Para cada turma, uma comparação entre a carga horária alocada por disciplina versus a carga horária especificada, ponderada pela importância da unidade.
- Critério 2: Para cada professor, uma comparação entre a carga horária alocada versus a carga horária mínima esperada (normalmente a do semestre anterior) ponderada pela importância do professor.
- Critério 3: O número total de preferências dos professores por unidades não atendidas ponderada pela importância do professor.
- Critério 4: O número total de vezes que os professores tiveram que se deslocar de uma determinada unidade para outra, ponderado pela importância dos professores.

Uma vez que a função objetivo terá que ser calculada muitas vezes, a utilização de critérios que resumem as necessidades dos interessados tem por objetivo tornar ágil o processo de cálculo, com a diminuição do tempo computacional e sem perdas sensíveis de informação sobre a qualidade do horário, isso devido à representatividade dos critérios adotados. Além disso, algumas especificações advindas das necessidades levantadas já foram modeladas como restrições do problema e, portanto, não é preciso que entrem na função objetivo, uma vez que o algoritmo já irá descartar automaticamente a construção de soluções que não atendem a essas restrições. A representatividade dos critérios supramencionados,

assim como os parâmetros de ponderação do grau de importância relativo de cada um deles, pode ser vista através do QFD (*Quality Function Deployment*) apresentado na figura 16. Para facilitar o entendimento da figura 16, reproduzimos as restrições do problema no quadro 19 abaixo.

Quadro 19 – Restrições do problema

Restrição 1:	Um professor não poderá ser alocado para duas turmas (Unidades) ao mesmo tempo.
Restrição 2:	Não poderá haver alocação de determinado professor para ministrar plantão em um horário fora de sua disponibilidade.
Restrição 3:	Cada professor só estará apto a ministrar plantão em disciplinas que forem da sua especialidade.
Restrição 4:	A uma determinada turma (unidade-escola) só poderão ser alocados horários de plantão nos horários em que a turma estiver disponível para isso.
Restrição 5:	Um deslocamento de professor de uma unidade-escola para outra só será permitido se decorrer um período de tempo reservado para o deslocamento e explicitado no dado de entrada “Número de Janelas para Deslocamento”.
Restrição 6:	Não será permitido um número simultâneo de plantonistas de uma mesma matéria, para determinada turma, maior que o especificado no dado de entrada “Número Máximo de Professores Simultâneos”.
Restrição 7:	Uma sala não poderá ser alocada para o plantão em um horário em que não esteja disponível.
Restrição 8:	O número total de professores x horas de plantão não pode exceder um máximo especificado para cada turma.

Restrição 9:	Um professor não poderá ser alocado a um horário com número de janelas de tempo em seqüência menor que o especificado no dado de entrada “Mínimo de Janelas em Seqüência a alocar” ⁷ .
Restrição 10:	Para cada turma só poderão ser ministradas aulas dentro da sua especificação nos dados de entrada “Disciplinas por Turma”.

⁷ Essa condição diz respeito ao algoritmo construtivo, o algoritmo de melhoria irá priorizar o aumento da carga horária do professor com déficit de horas em detrimento dessa restrição.

		Critérios de Qualidade				Restrições									
Necessidades Declaradas pelos Interessados	Grau de importância	Critério de Qualidade 1	Critério de Qualidade 2	Critério de Qualidade 3	Critério de Qualidade 4	Restrição 1	Restrição 2	Restrição 3	Restrição 4	Restrição 5	Restrição 6	Restrição 7	Restrição 8	Restrição 9	Restrição 10
Alunos															
Plantão ministrado em horários adequados para os alunos	5								●						
Distribuir o plantão de cada disciplina ao longo da semana	4										●				
Coordenadores do plantão de dúvidas															
Baixo número de atrasos e faltas dos professores	3			○	○										
Distribuição uniforme do número de horas de plantão entre os professores	3		●												
Carga horária distribuída entre os professores não menor que a contratual	4		●												
Distribuição da carga horária do plantão de acordo com o número de alunos das unidades	4	●													
Prioridade das unidades mais importantes	4	○													
Professores mais antigos devem ter prioridade	3		○	○	○										
A soma do número de horas trabalho dos professores não pode passar de um limite	5												●		
Coordenadores das unidades															
Plantão de todas as disciplinas requeridas pela unidade	4	○													●
Professores															
Possibilidade de escolher a unidade de preferência em determinado dia	3			●	△										
Inexistência de deslocamentos diários de professores entre unidades	3			○	●					○					
Um professor não deve ser alocado a poucas horas em determinado dia	4		△	△										●	
Importância do CQ (Totais)		60	76	58	48										
Importância relativa do CQ (Totais)		25%	31%	24%	20%										
Pesos simplificados		30	38	29	24										

● Correlação forte = 9 pontos

○ Correlação média = 3 pontos

△ Correlação fraca = 1 ponto

Figura 16 - QFD entre as necessidades declaradas e os critérios de qualidade

No QFD da figura 16, as restrições de números 1, 2, 3 e 7 não possuem correlação com as necessidades declaradas pelos interessados. Isso se deve ao fato de essas serem restrições implícitas do problema. Essas restrições, apesar de não terem sido declaradas, foram validadas pelos coordenadores do plantão. Pode-se verificar também que todas as necessidades são abrangidas pelos critérios de avaliação da qualidade dos resultados ou pelas restrições do problema. As necessidades que são tratadas exclusivamente por restrições não necessitam de controle porque o algoritmo irá gerar um horário sempre de acordo com elas.

O resultado do QFD também mostra que o critério mais importante para a alocação é o de número 2 (controle da carga horária alocada para cada professor), com 76 pontos, seguido dos critérios de número 1 (controle da carga horária da turma), com 60 pontos; de número 3 (controle da preferência dos professores), com 58 pontos, e de número 4 (controle de deslocamentos de professores), com 48 pontos. Esses valores simplificados (divididos por 2 para obtermos os menores inteiros) serão utilizados como pesos relativos à importância de cada um desses critérios no cálculo da função objetivo.

O cálculo da função objetivo se processa da seguinte forma: para cada critério de qualidade, inicialmente somamos todas as vezes que o critério foi violado na solução candidata. Em seguida, multiplicamos o resultado da soma de cada critério pelo peso relativo correspondente dado pelo resultado do QFD da figura 16.

Dessa forma, um horário considerado ótimo teria um resultado de valor 0 para a função objetivo, o que significa que nenhum dos critérios de qualidade foram violados, e uma solução ruim terá um valor elevado para a mesma função, caso em que houve muitas violações. A função objetivo, portanto, pode ser entendida como uma função de custo em que um resultado ruim representa um alto custo e um resultado baixo representa uma boa solução. Assim, o sistema irá procurar minimizar a função objetivo, retornando o horário de menor “custo” encontrado.

A expressão matemática para a função objetivo do problema é apresentada na figura 17 a seguir:

$$\begin{aligned}
W = & 30 * \sum_{t=1}^T \sum_{disc=1}^{DISC} CHT_{t,disc} + 38 * \sum_{p=1}^P CHP_p + 29 * \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^J PRP_{p,j} + \\
& + 24 * \sum_{p=1}^P \sum_{dia=1}^{NDIAS} DESLP_{p,dia} \quad (1)
\end{aligned}$$

Onde :

T = número total de turmas

$Disc$ = número total de disciplinas

P = número total de professores

J = número total de janelas

$NDIAS$ = número de dias úteis da semana

$CHT_{t,disc}$ = Controle de violação da carga horária definida da disciplina $disc$ para a turma t , $CHT_{t,disc}$ para $CHT_{t,disc} = 0$ não houve violação e para $CHT_{t,disc} = 1$, houve violação da carga horária

CHP_p = Controle de violação da carga horária definida para o professor p , CHP_p assume como valor a diferença entre a carga horária nominal definida para o professor p e a carga horária alocada no caso da nominal ser maior que a alocada, e assume 0 no caso contrário.

$PRP_{p,i}$ = Controle da preferência por Unidade do professor p na janela j , assume o valor 0 no caso de não haver violação e o valor 1 no caso contrário.

$DESLP_{p,dia}$ = Controle de deslocamento do professor p no em cada dia útil da semana, assume o valor 0 se não houver deslocamentos e o valor 1 no caso contrário

Figura 17 - Função objetivo

6.2 O Algoritmo Construtivo

O algoritmo construtivo foi desenvolvido de modo a gerar uma solução elemento a elemento. Cada elemento constitui a alocação de uma combinação de turma, disciplina, professor, agendamento do plantão e sala. A maneira como cada elemento é construído segue uma estrutura de quatro fases (ver seção 4.2). Dessa forma, o algoritmo construtivo estrutura-se na seguinte seqüência de passos:

- I) No primeiro passo, tendo-se uma dada turma a ser alocada, toma-se a decisão de escolha de uma disciplina que pertença à grade de disciplinas da turma e que ainda precise de plantão, para formar o par turma-disciplina;
- II) No segundo passo, tendo-se o par turma-disciplina, toma-se uma decisão da escolha do professor que julgamos, segundo um conjunto de critérios, ser o mais adequado para formar a tuple turma-disciplina-professor;
- III) No terceiro passo, tendo-se a tuple (turma-disciplina-professor), escolhe-se a melhor agenda para o plantão. A agenda é constituída pelas informações do dia da semana, hora de início do plantão e sua duração;
- IV) No quarto passo, tendo-se a tuple (turma-disciplina-professor) + a agenda, escolhe-se uma sala da mesma unidade da turma para alocar ao plantão. Ao final dessa fase, temos um elemento gerado (um horário alocado).

Essa seqüência de passos é repetida até que não haja mais turmas a serem alocadas, ou que não seja mais possível fazê-lo. Isso pode acontecer devido a uma das seguintes condições de parada:

- Todas as turmas já receberam o número de horas de plantão especificado para cada disciplina de sua estrutura curricular;
- Todos os professores já foram alocados em todas as suas disponibilidades e, portanto, não há mais professores disponíveis que possam ministrar plantões para a turma;

- Os professores ainda possuem disponibilidade, porém, não há mais horários em comum entre a disponibilidade das turmas em receber plantões e a disponibilidade dos professores em ministrá-los;
- Não há mais salas disponíveis para a prática do plantão nos horários e dias (calendário) em que as turmas estão aptas a receberem plantões.

O procedimento geral de alocação do algoritmo construtivo é apresentado no fluxograma da figura 18

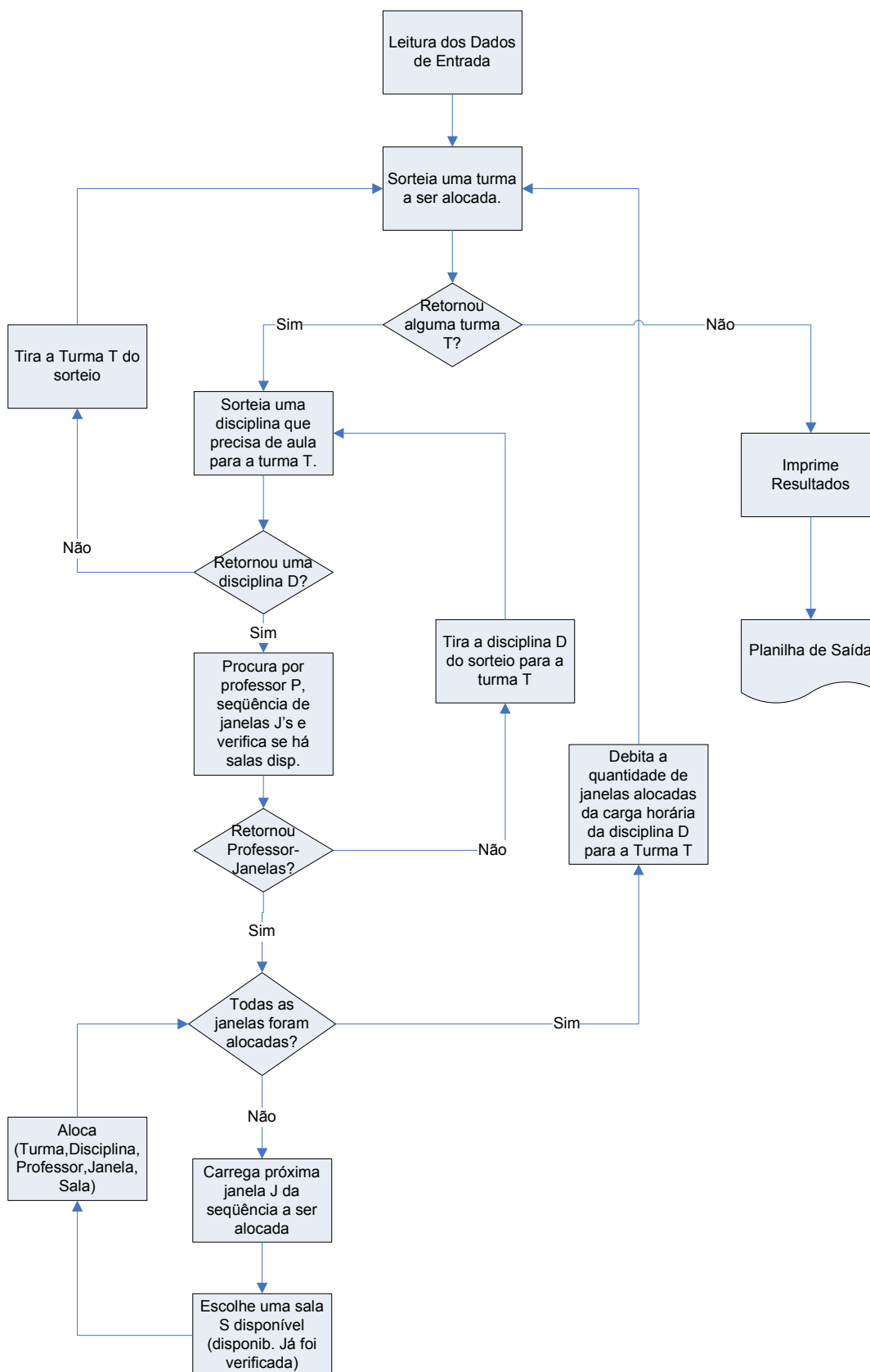


Figura 18 - Fluxograma do algoritmo construtivo

6.2.1 Leitura dos dados

O fluxograma apresentado na figura 18 mostra que o processo construtivo se inicia com a leitura dos dados de entrada. Esses dados são lidos das tabelas da base de dados apresentadas no capítulo 5 e são armazenados em vetores internos ao aplicativo.

6.2.2 O sorteio da turma

Após a leitura dos dados de entrada, inicia-se o procedimento construtivo propriamente dito com o sorteio de uma turma a ser alocada. O sorteio é ponderado pelo peso de importância da unidade à qual a turma pertence, o que significa dizer que turmas de unidades com pesos maiores são sorteadas com maior frequência. Se o sorteio não retornou nenhuma turma, o que acontece quando alguma condição de parada for atingida, o algoritmo construtivo é encerrado e as informações de saída são retornadas.

6.2.3 O sorteio da disciplina

Caso uma turma tenha sido retornada pelo sorteio, verificam-se quais as disciplinas da grade disciplinar da turma que ainda necessitam de horas de plantão e sorteia-se uma de modo aleatório. Caso nenhuma disciplina tenha sido encontrada, o algoritmo tira a referida turma definitivamente do rol de sorteio e reinicia o procedimento com o sorteio de outra turma. Se, no entanto, uma disciplina foi retornada para a turma, passa-se à busca de um professor com disponibilidade e habilitação adequadas para ministrar plantão para a combinação turma-disciplina.

6.2.4 A escolha do professor

A escolha do professor é feita da seguinte forma. Tendo-se fixada a combinação turma-disciplina, o algoritmo construtivo avalia todos os professores candidatos de acordo com cinco critérios especificados, dando notas a cada um dos professores. Essas notas são códigos de classificação que mudam dinamicamente a cada iteração, com a atualização dos dados. Dessa forma, o professor que obteve a melhor nota, segundo o conjunto total de critérios, é escolhido para formar a tuple turma-disciplina-professor. No caso de empate, o algoritmo sorteia aleatoriamente um vencedor entre os professores que obtiveram as melhores notas, que no caso serão idênticas entre si. Os cinco critérios para a atribuição das notas são os seguintes:

A) Compatibilidade entre professor e turma: Segundo esse critério, serão escolhidos, para a combinação turma-disciplina, os professores que apresentarem a maior seqüência de janelas de disponibilidade em comum com as turmas. Dessa forma, o algoritmo dá 2 pontos para cada janela de disponibilidade em comum e em seqüência. Além disso, pontos adicionais (1 ponto por janela) são dados aos professores que preferirem, na dada seqüência de janelas, ministrar aulas na unidade correspondente à turma em questão ou que forem indiferentes quanto à preferência. Isso se faz com o intuito de diferenciá-los dos professores que declaradamente preferirem dar plantão em outras unidades. O que dissemos aqui pode ser exemplificado com a figura 19.

Turma Geral da Unidade Tatuapé				
Janela	Dia	Início	Fim	Disponível
Janela 1	Seg.	14:00	15:00	Não
Janela 2	Seg.	15:00	16:00	Sim
Janela 3	Seg.	16:00	17:00	Sim
Janela 4	Seg.	17:00	18:00	Sim
Janela 5	Seg.	18:00	19:00	Não
Janela 6	Seg.	19:00	20:00	Não

Professor A						
Janela	Dia	Início	Fim	Disp.	Unid. Pref.	Ptos
Janela 1	Seg.	14:00	15:00	Não	Indiferente	0
Janela 2	Seg.	15:00	16:00	Não	Indiferente	0
Janela 3	Seg.	16:00	17:00	Sim	Indiferente	2+1
Janela 4	Seg.	17:00	18:00	Sim	Indiferente	2+1
Janela 5	Seg.	18:00	19:00	Sim	Indiferente	0
Janela 6	Seg.	19:00	20:00	Sim	Indiferente	0
Total						6

Professor B						
Janela	Dia	Início	Fim	Disp.	Unid. Pref.	Ptos
Janela 1	Seg.	14:00	15:00	Sim	Tatuapé	0
Janela 2	Seg.	15:00	16:00	Sim	Tatuapé	2+1
Janela 3	Seg.	16:00	17:00	Sim	Tatuapé	2+1
Janela 4	Seg.	17:00	18:00	Sim	Tatuapé	2+1
Janela 5	Seg.	18:00	19:00	Não	Tatuapé	0
Janela 6	Seg.	19:00	20:00	Não	Tatuapé	0
Total						9

Professor C						
Janela	Dia	Início	Fim	Disp.	Unid. Pref.	Ptos
Janela 1	Seg.	14:00	15:00	Sim	Santana	0
Janela 2	Seg.	15:00	16:00	Sim	Santana	2
Janela 3	Seg.	16:00	17:00	Sim	Santana	2
Janela 4	Seg.	17:00	18:00	Sim	Santana	2
Janela 5	Seg.	18:00	19:00	Sim	Santana	0
Janela 6	Seg.	19:00	20:00	Sim	Santana	0
Total						6

Figura 19 - Compatibilidade entre professor e turma

Na figura 19, vemos que os professores B e C possuem três janelas de disponibilidade em comum com a turma, portanto ambos recebem 6 pontos (dois por janela em comum), enquanto o professor A, que possui apenas 2 janelas em comum com a turma, recebe apenas 4 pontos. Pontos adicionais são dados aos professores A, de preferência indiferente, e B, que declarou preferência pela mesma unidade da turma (Tatuapé), com o intuito de diferenciá-los do professor C, que declarou preferência em ministrar plantão em outra unidade (Santana). O professor B portanto será o escolhido pelo critério da compatibilidade, pois possui a nota 9, que é a maior (6 pontos de janelas em comum com a turma + 3 pontos adicionais pela preferência).

Os pontos dados ao critério de compatibilidade entre professores e turmas entram no código que representa a nota final do professor, com dois dígitos.

B) Carga horária do professor: O critério de carga horária do professor leva em consideração o fato de que é desejável que cada professor seja alocado, no mínimo, no mesmo número de horas do semestre anterior. Sendo assim, para cada professor o algoritmo compara o número de horas em que ele já está alocado com o número total de horas em que estava alocado no semestre anterior, e a diferença é creditada como pontos para o professor. Além disso, professores que já estão alocados em um número de horas maior ou igual ao do semestre anterior recebem nota zero por esse critério.

Um exemplo de aplicação do critério da carga horária do professor é dado pelo Quadro 20.

Quadro 20 – Aplicação do critério da carga horária

Professor	Carga horária do Sem. anterior	Carga horária já alocada	Nota
A	40	35	5
B	20	21	0
C	35	25	10

No quadro 20, segundo esse critério, o professor C será escolhido, pois possui a maior nota. Note que o professor B está alocado a um número de horas maior que o do semestre anterior. Isso pode acontecer devido à preponderância de algum outro critério. Além disso, o professor recebe nota 0 (e não -1), o que acontece sempre que a carga alocada for maior ou igual à do semestre anterior.

C) Preferência dos professores pelas unidades: Fixada a combinação turma-disciplina, o critério de preferência dos professores pelas unidades irá escolher o professor que der preferência declarada por ministrar aulas na unidade à qual a turma pertence. Se a unidade declarada coincidir com a unidade da turma em questão, para cada janela da seqüência o professor recebe nota 1, se não coincidir (ou se o professor for indiferente quanto à unidade), então sua nota recebe o valor 0.

D) Peso de importância dos professores: Esse critério se baseia no fato de que os professores mais importantes (normalmente os mais antigos) devem ter prioridade na alocação. A prioridade é dada por um peso para cada professor, que é um número inteiro que varia de 0 a 9. No código de nota é reservado um dígito para a nota desse critério.

E) Preferência dos professores pelas disciplinas: A preferência dos professores pelas disciplinas em que ministrarão plantões hoje não é um fator levado em consideração na alocação, pois os professores ministram plantões de dúvidas de todas as disciplinas correspondentes a sua habilitação num mesmo horário de plantão. A criação desse critério, no entanto, se justifica porque os coordenadores pretendem, no futuro, que cada professor dê monitoria de apenas uma disciplina por plantão.

A maneira como a nota é computada para esse critério se dá com a leitura do peso atribuído pelo professor à disciplina fixada na combinação turma-disciplina. Esse peso, que é um dado de entrada, é um número inteiro que varia de 0 a 9. O peso é então retornado como nota de um dígito para o professor.

O código final que representa a nota para os professores é constituído de 7 dígitos. A ordem de importância de cada critério, definida como um parâmetro de entrada (ver Quadro 5 da seção 4.5.1) define a posição em que a nota de cada critério irá entrar no código quando o parâmetro α estiver no intervalo $[0.4; 1)$. Dessa forma, o critério que é considerado o mais importante (de nível 1) irá aparecer mais à esquerda no código numérico e, portanto, definirá a escolha do professor. Em caso de empate pelo primeiro critério, o segundo critério (nível 2) definirá o professor a ser escolhido, e assim sucessivamente até o último critério (nível 5). A estrutura geral do código numérico assim formado é apresentada na figura 20. Nela, cada algarismo N representa um número inteiro no intervalo 0 a 9. As letras correspondem aos critérios da seguinte forma:

A – Compatibilidade entre o professor e a turma

B – Carga horária do professor

C – Preferência do professor pela unidade

D – Peso de importância do professor

E – Preferência do professor pela disciplina

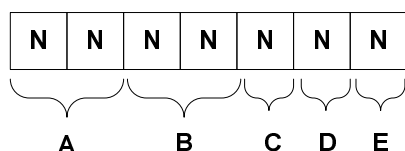


Figura 20 - Estrutura geral do código numérico para escolha dos professores

6.2.4.1 A influência do parâmetro α na ordem do código

Como dissemos no início deste capítulo, o algoritmo de resolução se baseia no procedimento GRASP (Greedy Randomized Adaptive Search Procedure). Segundo essa heurística, devemos associar a geração de cada solução a um parâmetro α , na fase construtiva do algoritmo. Isso deve ocorrer para que as soluções geradas sejam bastante diversificadas entre si, com o intuito de explorar melhor um maior número de possibilidades distintas.

Pela forma como é gerada cada solução, na fase construtiva do algoritmo, mesmo quando o parâmetro α estiver no intervalo $[0.1; 1)$ (caso em que a ordem interna do código de notas é determinística), a possibilidade de se gerarem duas soluções idênticas é praticamente nula, pois tanto as turmas como as disciplinas são escolhidas de forma aleatória, e as notas dadas aos professores mudam, a cada iteração, pela atualização das informações já alocadas. Sendo assim, já há uma grande variabilidade das soluções geradas, mesmo sem considerarmos o parâmetro α .

No entanto, como a região de exploração das soluções do problema envolve um número muito elevado de combinações, corremos o risco de perder informações sobre soluções melhores se considerarmos fixa a ordem interna dos critérios no código de notas. Isso porque sempre será considerado em primeiro lugar o critério mais à esquerda do código, e só no caso de empate nesse critério será considerado o próximo, seguindo essa ordem até o último.

A mudança na ordem interna do código para escolha dos professores não impede de continuarmos comparando a qualidade das soluções geradas, uma vez que a função objetivo independe dessa ordem, pois possui critérios próprios que não são afetados pela mudança no modo como escolhemos os professores.

Entretanto, acreditamos que há uma maior possibilidade de encontrarmos uma solução de melhor qualidade na ordem especificada como parâmetro de entrada, pois a importância relativa dos critérios deve estar correlacionada com os resultados. Portanto, o algoritmo irá priorizar essa ordem definida na entrada, fazendo com que ela seja usada com uma frequência maior, mas também irá permitir, com uma menor frequência, a utilização de uma ordem aleatória para a geração das soluções.

Dessa forma, a escolha da ordem interna seguirá o seguinte procedimento. Gera-se um número α aleatório entre 0 e 1. Se o número gerado estiver no intervalo $[0; 0.4)$, sorteamos uma ordem aleatória para os critérios, num total de $5! - 1 = 119$ possibilidades. Como exemplos de possibilidades teríamos, baseados na figura 20, os seguintes casos: DACEB, AEBCD, BDACE etc. Caso o número sorteado esteja no intervalo de $[0.4; 1)$, a ordem interna no código de notas será o fixado como parâmetro de entrada, ou seja, ABCDE.

6.2.5 O agendamento do plantão

O agendamento do plantão consiste em, dada a tuple turma-disciplina-professor, tomar a decisão sobre em que dia da semana e em qual horário será dado o plantão, além de definir sua duração. Ao final do agendamento teremos então a combinação tuple (turma-disciplina-professor) + Agenda.

A possibilidade de um agendamento viável, ou seja, que não viole as disponibilidades do professor nem da turma já foi verificada quando da escolha do professor, pois o algoritmo tira do rol de escolha os professores que não têm disponibilidade em comum com a turma. Resta-nos agora definir, dentre todas as disponibilidades que são comuns entre professor e turma, a melhor sequência de

janelas para alocar ao plantão. Essa escolha é feita considerando-se como critério o maior número de janelas em seqüência dentro da disponibilidade conjunta (de professor e turma). A razão de se escolher a maior seqüência de janelas é que queremos alocar o máximo de carga horária possível tanto para o professor como para a turma, já que estes estão relacionados aos critérios de qualidade do horário resultante (ver seção 6.1).

6.2.6 A escolha da sala

Após termos a combinação tuple (turma-disciplina-professor) + agenda, tomamos a decisão sobre qual sala disponível será alocada ao plantão. Esta tem de ser uma sala da mesma unidade da turma. É escolhida a primeira sala encontrada disponível para a primeira janela da turma. Como a agenda do plantão é formada por uma seqüência de janelas, é preciso verificar se a sala continuará disponível por toda a seqüência. No caso de se tornar indisponível depois de algumas janelas já alocadas, o algoritmo irá procurar uma outra sala da mesma unidade para continuar a alocação, porém sempre é priorizada a escolha de uma única e mesma sala, quando possível, para todas as janelas da seqüência. Terminada a escolha da sala, temos um horário alocado e passamos para a próxima iteração logo após a atualização dos dados.

6.2.7 Atualização das informações

Com a escolha da sala temos uma unidade de horário alocado (ver quadro 2). Entretanto, antes de passarmos para a próxima iteração, há a necessidade de se atualizar os dados com as informações da última alocação feita. Para isso, fixa-se a combinação alocada de turma-disciplina-professor-agenda-sala, e se procede da seguinte forma:

- Debita-se o número de horas que foram alocadas na iteração da carga horária da disciplina para a turma;
- Debita-se o número de horas que foram alocados na iteração da carga horária do professor;
- Altera-se para indisponível o estado de disponibilidade da turma, do professor e da sala para as janelas que foram alocadas na iteração.

6.2.8 Saída do algoritmo construtivo

Como principal saída do algoritmo construtivo, temos uma matriz com o TT alocado. Essa matriz representa uma solução inicial para o problema. Além disso, temos quatro matrizes de controle que são carregadas durante o processo de alocação e retornadas na saída. Essas matrizes se referem aos critérios para o cálculo da função objetivo (conforme descrito na seção 6.1). São elas: uma matriz de controle da carga horária alocada para as turmas; uma matriz de controle para a carga horária alocada para os professores; uma matriz de controle do número de violações da preferência dos professores por unidades onde querem ministrar os plantões; e finalmente, uma matriz de controle do número de deslocamentos diários de professores entre unidades.

6.3 O algoritmo de melhoria

No algoritmo de melhoria temos o tratamento de cada solução gerada no processo construtivo, de maneira a tentar diminuir seu *score* dado pela expressão (1) da figura 17 (seção 6.1). O tratamento consiste, a cada iteração de melhoria, num movimento que substitui a solução corrente, iniciada pelo algoritmo construtivo,

por uma nova solução vizinha. Entende-se por soluções vizinhas aquelas que diferem apenas por uma posição, conforme será visto mais à frente.

Lembrando que, na fase construtiva, para cada par turma-disciplina, temos a alocação de um professor que melhor se adequa ao par no sentido de que o maior número de horas possam ser alocadas para a tuple turma-disciplina-professor. Isso tem por finalidade priorizar o consumo de horas dedicado às turmas, fazendo com que estas recebam o número de plantões de acordo com sua grade horária. Desse modo, rapidamente se constrói uma solução de acordo com a carga horária das turmas, ou próxima disso. No entanto, tal priorização pode prejudicar o número de horas distribuídas entre professores, fazendo com que uns recebam mais horas de plantão do que os outros, o que é uma situação indesejável. Vale lembrar que o número de horas a serem alocados entre os professores também é função de suas disponibilidades em ministrar plantões e do número de horas nominal mínimo especificado para cada um. Sendo assim, a heterogeneidade, para um TT justo, deve ser explicada apenas devido às diferenças de disponibilidades dos professores e também por suas cargas horárias nominais, e não devido ao processo de alocação.

A distribuição desbalanceada de plantões entre os professores penaliza a função objetivo (expressão (1) da seção 6.1) fazendo com que a parcela $38 * \sum_{p=1}^P PP_p * CHP_p$ assumam maiores valores para horários em que a carga horária mínima dos professores não foi respeitada.

O algoritmo de melhoria irá, portanto, redistribuir o número de horas alocado aos professores, procurando dar aos que foram prejudicados pelo menos a sua carga horária mínima. Isso sem, no entanto, diminuir o número de horas de plantões já alocados às turmas.

6.3.1 Redistribuição do número de horas entre os professores

Para redistribuir o número de horas entre os professores, em primeiro lugar identificamos aqueles que estão com menos horas alocadas que o especificado pela sua carga horária mínima. Em seguida, identificamos os professores em situação complementar, ou seja, que possuam mais horas alocadas do que o mínimo esperado. Temos, no primeiro grupo, professores com déficit de horas de plantão e, no segundo, com excesso. O algoritmo, então, para cada professor no grupo com déficit, procura um outro no grupo com excesso, com correspondente disciplina, e de acordo com a disponibilidade daquele. Uma vez encontrada uma correspondência, efetiva-se a troca de horário de modo que o professor com déficit receba uma seqüência de horas de plantão do professor com excesso, considerando-se sempre as restrições do problema⁸ (ver seção 4.5.2). Cada troca de posições consiste, então, num movimento do algoritmo. A função objetivo é recalculada e o conjunto *Best* (que contém a melhor solução encontrada) é atualizado se um melhor *score* até o momento for encontrado. Repete-se esse procedimento até que movimentos já não sejam possíveis.

O procedimento de realocação do algoritmo de melhoria é apresentado no fluxograma da figura 21.

⁸ A restrição 9 pode ser violada pelo algoritmo de melhoria no caso de não ser possível aumentar a carga horária do professor com déficit sem o desrespeito a essa condição. Isso por se considerar que é pior um déficit de horas do que alocar o professor a poucas horas em determinado dia.

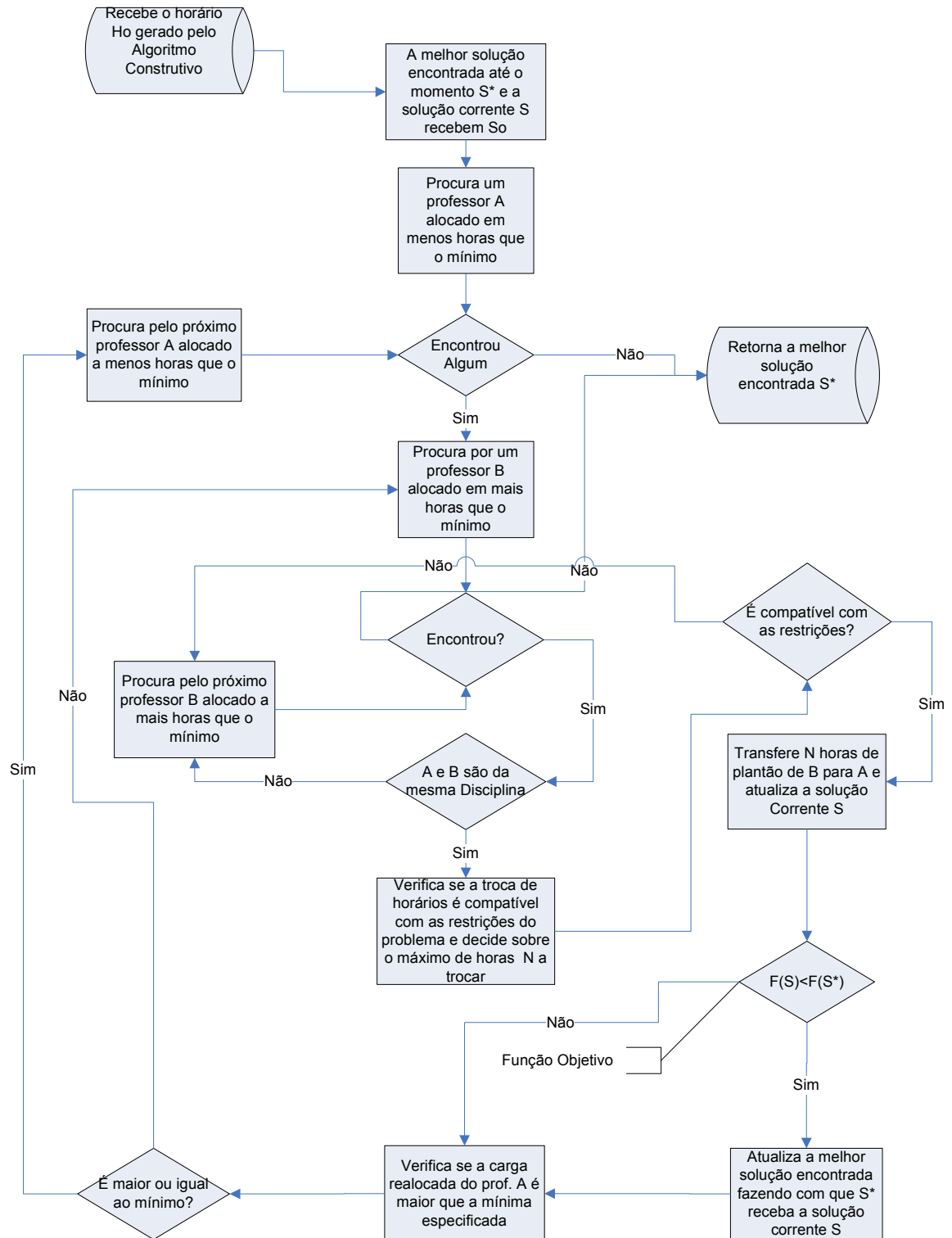


Figura 21 - Fluxograma do algoritmo de melhoria

7 Testes Preliminares

Antes de resolver o problema real de alocação de horário dos professores, convém testar a eficácia e a eficiência do algoritmo desenvolvido. Para isso, aplicamos o algoritmo a problemas fictícios menores oriundos do problema principal. No primeiro teste, consideramos uma alocação simples de professores a apenas uma unidade: o curso Pinheiros. No segundo teste, desejamos avaliar o comportamento do algoritmo quando aplicado a mais de uma escola. Nesse caso, o problema considerado trata de duas unidades: o curso Pinheiros e o curso Santana. Nesses dois primeiros testes, modificamos os dados de entrada de modo que esses não sejam conflitantes, isso para verificar o comportamento do algoritmo a problemas razoavelmente mais simples. No terceiro teste, no entanto, avaliamos o desempenho do algoritmo quando aplicado a duas escolas (curso Tatuapé e curso Paraíso) e com conflito entre as disponibilidades dos professores. Os resultados são descritos nas seções que se seguem.

As bases de dados com as informações de entrada utilizadas para os testes 1, 2 e 3 estão respectivamente nos arquivos dados_teste1.xls, dados_teste2.xls e dados_teste3.xls do CD que acompanha este trabalho.

Para os testes foi utilizado um microcomputador com a seguinte configuração:

Processador AMD Athlon

1,15 GHs

256 MB de RAM

7.1 Teste 1: Problema sem conflitos de interesses para uma unidade.

A idéia para este teste é a de verificar o comportamento do algoritmo quando não há escassez de recursos e nem conflito de interesses entre os envolvidos no processo de alocação. Ou seja, as disponibilidades dos professores são de tal modo complementares que suprem, sem escassez, a demanda das turmas por horas de plantão. Com isso, pretendemos avaliar o tempo que se decorre para a obtenção de uma solução aceitável, e se o algoritmo é capaz de encontrar uma solução ótima, ou seja, encontrar um valor nulo para a função objetivo (um *score* 0). Um gráfico com o resultado do processamento é apresentado no gráfico 1, a seguir.

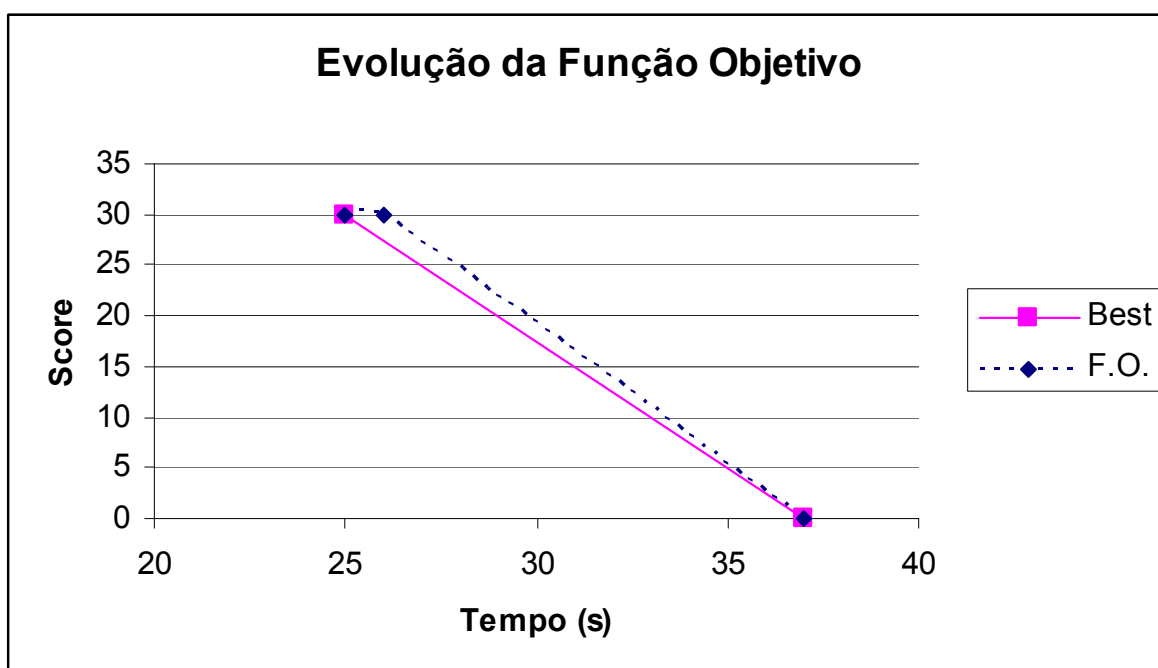


Gráfico 1 - Evolução do conjunto *Best* para o teste 1

No gráfico 1 podemos verificar que o algoritmo foi capaz de encontrar uma solução ótima, com *score* 0, em apenas 37 segundos de processamento. Concluimos que o desempenho apresentado mostra que o algoritmo é eficiente e eficaz na busca de soluções para problemas simples (sem conflito e para uma unidade-escola).

O TT resultante do processo é apresentado no quadro 21.

Quadro 21 – *Timetabling* resultante para o teste 1

Unidade	Dia	Professor	Disciplina(s)	Entrada	Saída
Curso Pinheiros	Segunda-Feira	Daniela	Port.	14:00:00	22:00:00
		Gheorge	Geogr.	18:00:00	22:00:00
		Janduí	Biol.	14:00:00	18:00:00
		Ricardo	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
	Terça-Feira	Daniela	Port.	18:00:00	22:00:00
		Dias	Hist.	14:00:00	22:00:00
		Gheorge	Geogr.	18:00:00	22:00:00
		Janduí	Biol.	14:00:00	18:00:00
		Maurício	Biol./Quím.	18:00:00	22:00:00
		Ricardo	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	18:00:00
		Rosa	Port.	14:00:00	18:00:00
		Vinícius	Mat./Fís./Quím.	18:00:00	22:00:00
	Quarta-Feira	Maurício	Biol./Quím.	18:00:00	22:00:00
		Nivalda	Geogr.	14:00:00	22:00:00
		Ricardo	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
		Rosa	Port.	14:00:00	18:00:00
	Quinta-Feira	Daniela	Port.	18:00:00	22:00:00
		Edison	Hist.	14:00:00	22:00:00
		Ricardo	Mat./Fís./Quím.	18:00:00	22:00:00
		Rosa	Port.	14:00:00	16:00:00
		Vinícius	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	17:00:00
	Sexta-Feira	Daniela	Port.	18:00:00	22:00:00
		Vinícius	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
	Sábado	Rosa	Port.	08:00:00	18:00:00
		Vinícius	Mat./Fís./Quím.	09:00:00	18:00:00

7.2 Teste 2: Problema sem conflitos de interesses para duas unidades.

Para este teste, estudamos o comportamento do algoritmo na resolução de um problema simples (sem conflito de interesses) e com recursos dispostos de tal forma que são capazes de suprir toda a demanda das turmas por horas de plantão de dúvidas. O resultado do processamento segue no gráfico 2 a seguir .

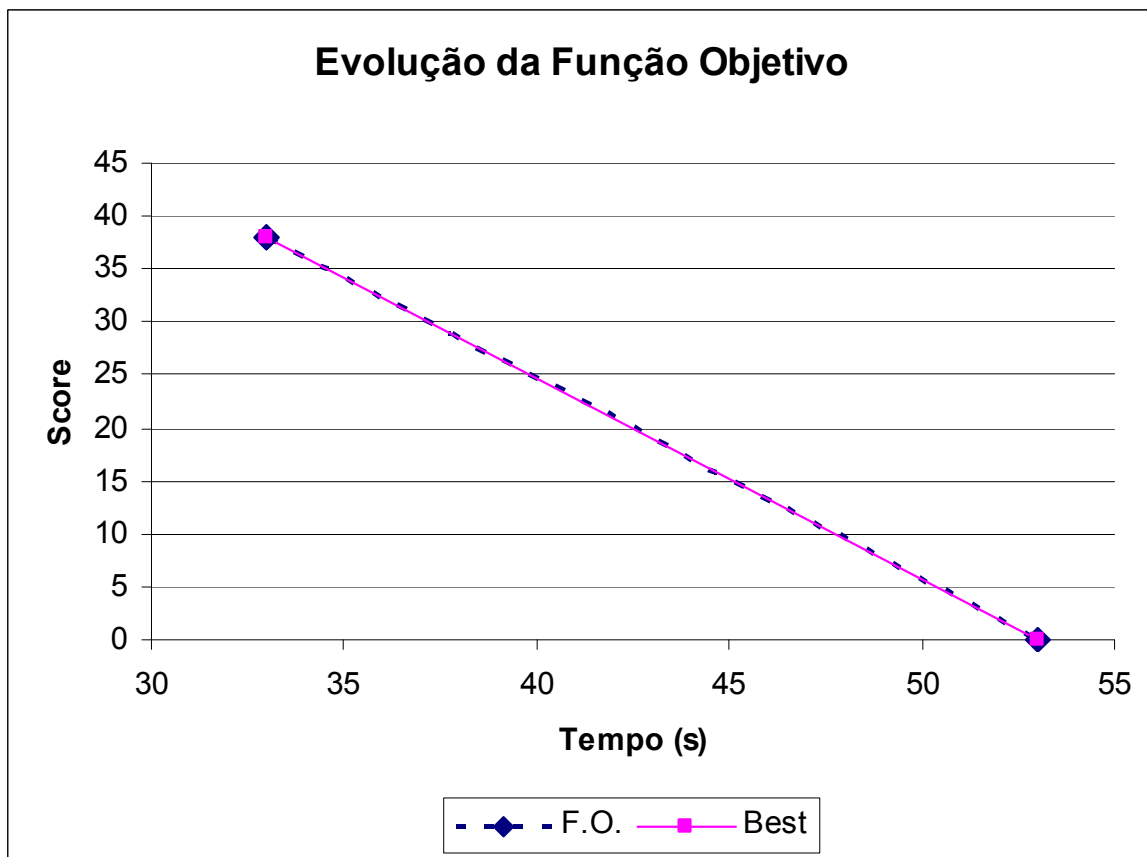


Gráfico 2 - Evolução do conjunto *Best* para o teste 2

Podemos ver que novamente o algoritmo foi capaz de encontrar uma solução ótima, de *score* 0, em apenas 53 segundos de processamento, o que avaliamos como um bom desempenho. Concluimos que o algoritmo é eficiente e eficaz para a resolução de problemas sem conflitos de interesses e sem escassez de recursos, para duas unidades-escolas.

O TT resultante do processo é apresentado no quadro 22.

Quadro 22 – *Timetabling* resultante para o teste 2

Unidade	Dia	Professor	Disciplina(s)	Entrada	Saída
Curso Pinheiros	Segunda-Feira	Dias	Hist.	14:00:00	21:00:00
		Janduí	Biol.	14:00:00	21:00:00
		Nivalda	Geogr.	14:00:00	21:00:00
		Ricardo	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
		Rosa	Port.	14:00:00	22:00:00
	Terça-Feira	Daniela	Port.	14:00:00	22:00:00
		Vinícius	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
	Quarta-Feira	Daniela	Port.	14:00:00	22:00:00
		Vinícius	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
	Quinta-Feira	Rosa	Port.	14:00:00	21:00:00
		Vinícius	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
	Sexta-Feira	Ricardo	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	21:00:00
	Sábado	Edison	Hist.	09:00:00	18:00:00
		Gheorge	Geogr.	09:00:00	18:00:00
		Maurício	Biol./Quím.	09:00:00	18:00:00
		Rosa	Port.	09:00:00	18:00:00
		Vinícius	Mat./Fís./Quím.	09:00:00	18:00:00
Curso Santana	Segunda-Feira	Daniela	Port.	14:00:00	22:00:00
		Edison	Hist.	14:00:00	21:00:00
		Gheorge	Geogr.	14:00:00	21:00:00
		Maurício	Biol./Quím.	14:00:00	21:00:00
		Vinícius	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
	Terça-Feira	Ricardo	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
		Rosa	Port.	14:00:00	22:00:00
	Quarta-Feira	Ricardo	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
		Rosa	Port.	14:00:00	22:00:00
	Quinta-Feira	Daniela	Port.	14:00:00	21:00:00
		Ricardo	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
	Sexta-Feira	Vinícius	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	21:00:00
	Sábado	Daniela	Port.	09:00:00	18:00:00
		Dias	Hist.	09:00:00	18:00:00
		Janduí	Biol.	09:00:00	18:00:00
		Nivalda	Geogr.	09:00:00	18:00:00
		Ricardo	Mat./Fís./Quím.	09:00:00	18:00:00

7.3 Teste 3: Problema com conflitos para duas unidades.

Nesse teste, procuramos avaliar o desempenho do algoritmo no trato de problemas com maior grau de complexidade. Para isso, consideramos duas unidades-escolas, o curso Paraíso e o curso Tatuapé, e conflitos nas disponibilidades dos professores, o que obriga o algoritmo a fazer escolhas. O resultado do processamento pode ser visto no gráfico 3.

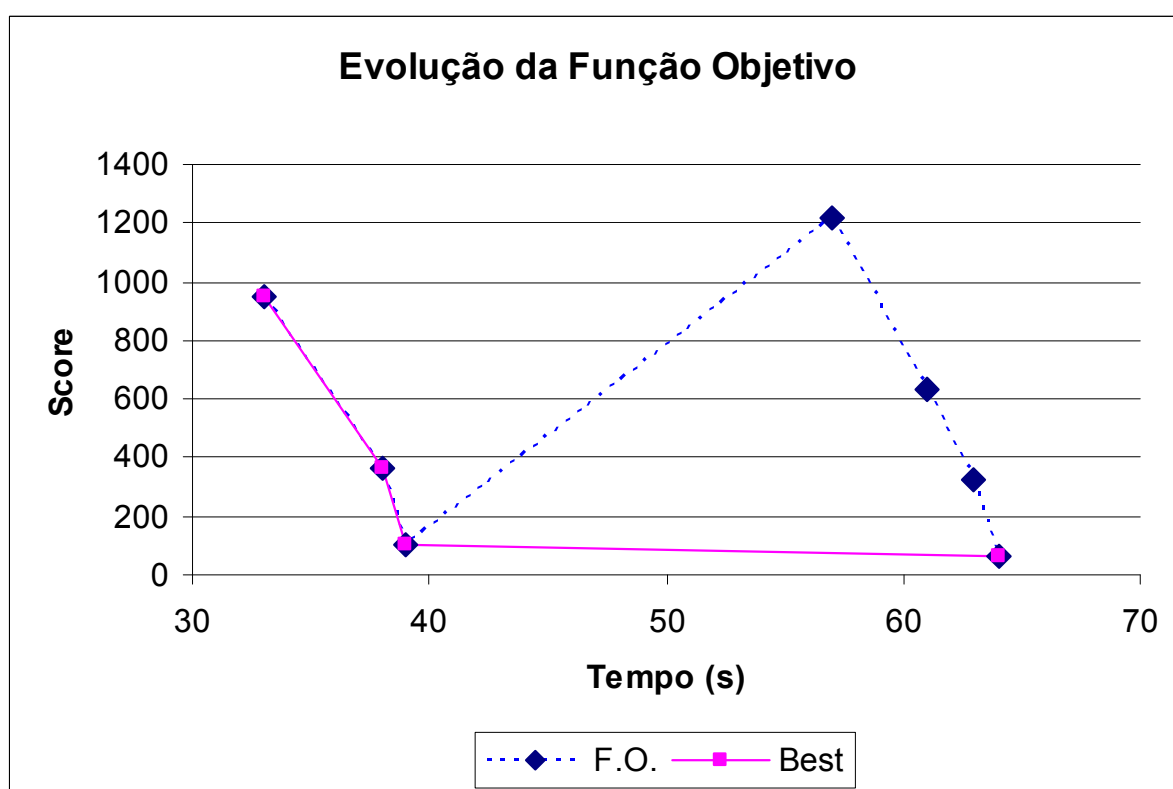


Gráfico 3 - Evolução do conjunto *Best* para o teste 3

No gráfico 3, podemos verificar que uma solução de boa qualidade foi encontrada, com um score baixo (de 62 pontos), porém não podemos mais garantir que a solução é ótima devido à complexidade do problema. O tempo de processamento para encontrar a melhor solução foi de 64 segundos, mas com 39 segundos de processamento o programa foi capaz de encontrar uma solução bem próxima da melhor obtida, com um score de 100 pontos.

É interessante notar, na evolução da função objetivo (linha azul do gráfico), que ela regride a uma solução de pior qualidade que a inicial (score inicial de 950), atingindo um *score* de 1216 pontos, mas que a partir do tratamento dessa solução pior, o algoritmo foi capaz de encontrar a melhor solução aos 64 segundos de processamento. Isso mostra que é importante não descartar as soluções piores da fase construtiva e mostra também o bom desempenho do algoritmo de melhoria, que foi capaz de reduzir consideravelmente o *score* de 1216 para o mínimo encontrado de 62 pontos.

Com isso, avaliamos que o algoritmo é capaz de encontrar soluções de boa qualidade para problemas com conflito de dados e para duas unidades-escolas. No quadro 23 a seguir, apresentamos o TT gerado no processo.

Quadro 23 – *Timetabling* resultante para o teste 3

Unidade	Dia	Professor	Disciplina(s)	Entrada	Saída
Curso Paraíso	Segunda-Feira	Daniela	Port.	14:00:00	21:00:00
		Nivalda	Geogr.	14:00:00	21:00:00
		Otávio	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
	Terça-Feira	Edison	Hist.	14:00:00	21:00:00
		Guilherme	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
		Rosa	Port.	14:00:00	22:00:00
	Quarta-Feira	Lincoln	Biol./Quím.	14:00:00	21:00:00
		Otávio	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
	Quinta-Feira	Guilherme	Mat./Fís./Quím.	15:00:00	22:00:00
		Vinícius	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	16:00:00
	Sexta-Feira	Otávio	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	21:00:00
	Sábado	Dias	Hist.	09:00:00	18:00:00
		Gláuce	Port.	09:00:00	18:00:00
		Maurício	Biol./Quím.	09:00:00	18:00:00
		Nivalda	Geogr.	09:00:00	18:00:00
		Otávio	Mat./Fís./Quím.	09:00:00	18:00:00
Curso Tatuapé	Segunda-Feira	Edison	Hist.	14:00:00	21:00:00
		Lincoln	Biol./Quím.	20:00:00	22:00:00
		Maurício	Biol./Quím.	14:00:00	20:00:00
		Rosa	Port.	14:00:00	22:00:00
		Vinícius	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
	Terça-Feira	Gláuce	Port.	14:00:00	21:00:00
		Lincoln	Biol./Quím.	15:00:00	22:00:00
		Maurício	Biol./Quím.	14:00:00	16:00:00
		Nivalda	Geogr.	14:00:00	21:00:00
		Vinícius	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
	Quarta-Feira	Vinícius	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
	Quinta-Feira	Otávio	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
	Sexta-Feira	Guilherme	Mat./Fís./Quím.	20:00:00	22:00:00
		Vinícius	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	20:00:00
	Sábado	Daniela	Port.	09:00:00	18:00:00
		Edison	Hist.	09:00:00	18:00:00
		Gheorge	Geogr.	09:00:00	18:00:00
		Vinícius	Mat./Fís./Quím.	09:00:00	18:00:00

7.4 Conclusões sobre os testes

Com os resultados apresentados pelos 3 testes, avaliamos que o algoritmo tem boas condições de ser aplicado com sucesso na resolução do problema foco deste trabalho, que consta de um elevado grau de complexidade, pois tratam-se de 52 professores e 20 unidades-escolas. Obviamente os testes foram aplicados a problemas mais simples com o intuito de avaliar as características principais do algoritmo, mais fáceis de serem observadas nesses casos. Com a conclusão da fase de testes, passemos à resolução do problema real de alocação dos professores.

8 Resolução do Problema Principal

Para a resolução do problema foi usado um microcomputador com a seguinte configuração:

Processador AMD Athlon

1,15 GHs

256 MB de RAM

8.1 Análise de Desempenho

A base de dados com as informações de entrada para o problema está no arquivo dados_do_problema.xls do CD que acompanha este trabalho. Em suma, são 52 professores a serem alocados a 20 unidades-escolas de colégios e cursos do **Objetivo**. Como parâmetros de entrada para o tempo de processamento foram utilizados os dados do Quadro 24.

Quadro 24 – Parâmetros de parada

Parâmetro	Tempo
Parar na Primeira Iteração depois de (min)	240
Tempo Max. De processamento Sem Melhoria (min)	200

O resultado do processamento pode ser observado no gráfico 4. Apesar de o tempo mínimo de processamento ter sido especificado em 4 horas, pôde-se observar que uma melhora não foi encontrada após 2 horas e 16 minutos (8143 segundos). O gráfico 4 mostra a grande variabilidade das soluções pesquisadas, mostrando scores que variam de mais de 8.000 pontos a menos de 200. Essa variabilidade tem por objetivo considerar muitas soluções distintas, até mesmo piores no início, com o objetivo de se escapar de mínimos locais.

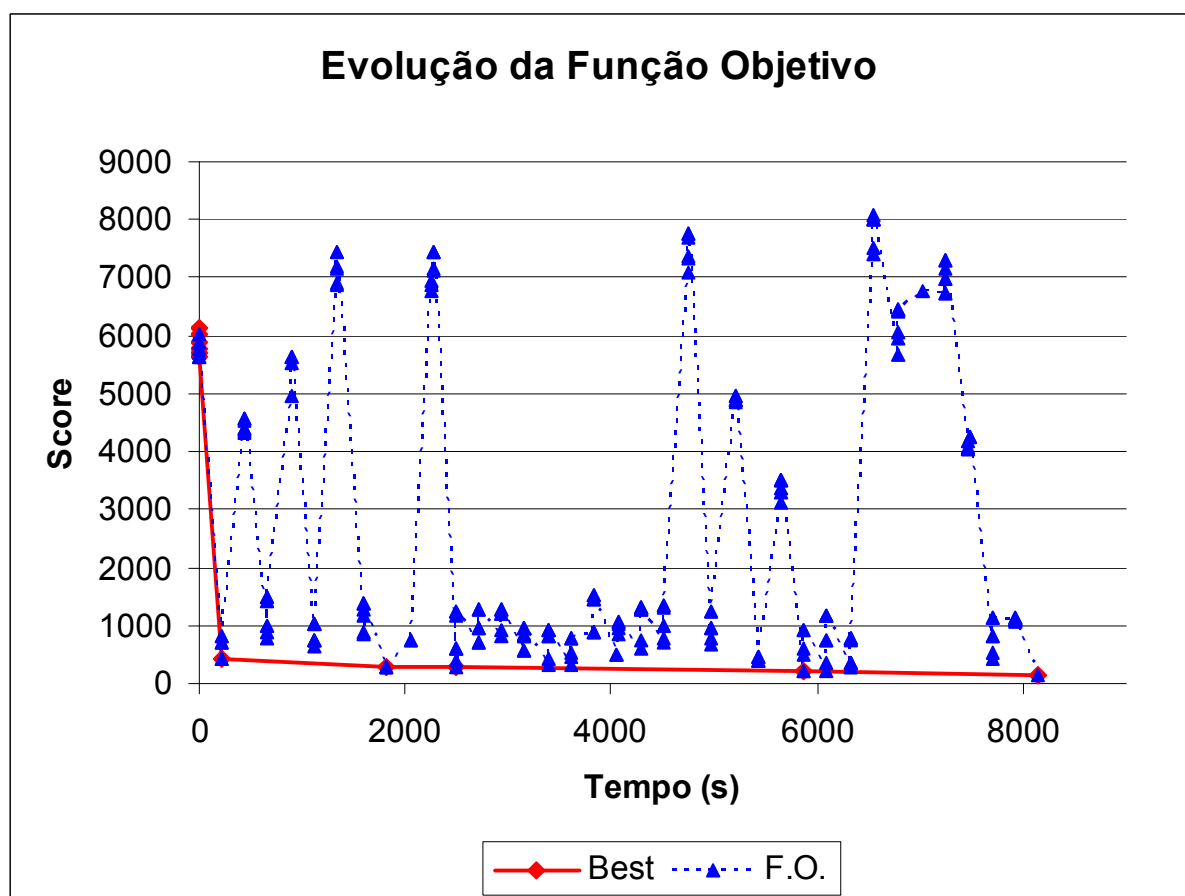


Gráfico 4 - Evolução do score das soluções candidatas

No gráfico 4, podemos observar uma queda abrupta do score de 6122 pontos para 428 nos 3,6 primeiros minutos de processamento. Após essa queda inicial, um tempo razoavelmente mais longo foi necessário para se encontrar novas soluções melhores. Sendo que a melhor de todas foi encontrada com 2 horas e 16 minutos.

Apesar do longo tempo para se encontrar a solução de menor score, a análise do gráfico 5 mostra que a solução com score de 428, com tempo de processamento de 216 segundos, possui um score de apenas 2,9 vezes o da melhor solução encontrada. O quadro 25 a seguir mostra a evolução do conjunto *Best* que contém as melhores soluções encontradas em função do tempo de processamento para sua obtenção.

Quadro 25 – Evolução percentual do conjunto *Best*

Score	% maior que o score mínimo	Tempo (s)
6122	4036%	0
6008	3959%	2
5894	3882%	3
5780	3805%	4
5704	3754%	4
5628	3703%	5
428	189%	216
300	103%	1820
272	84%	2485
224	51%	5871
124	0%	8143

O gráfico 5, a seguir, enfoca a evolução do conjunto *Best* apresentado no quadro 25.

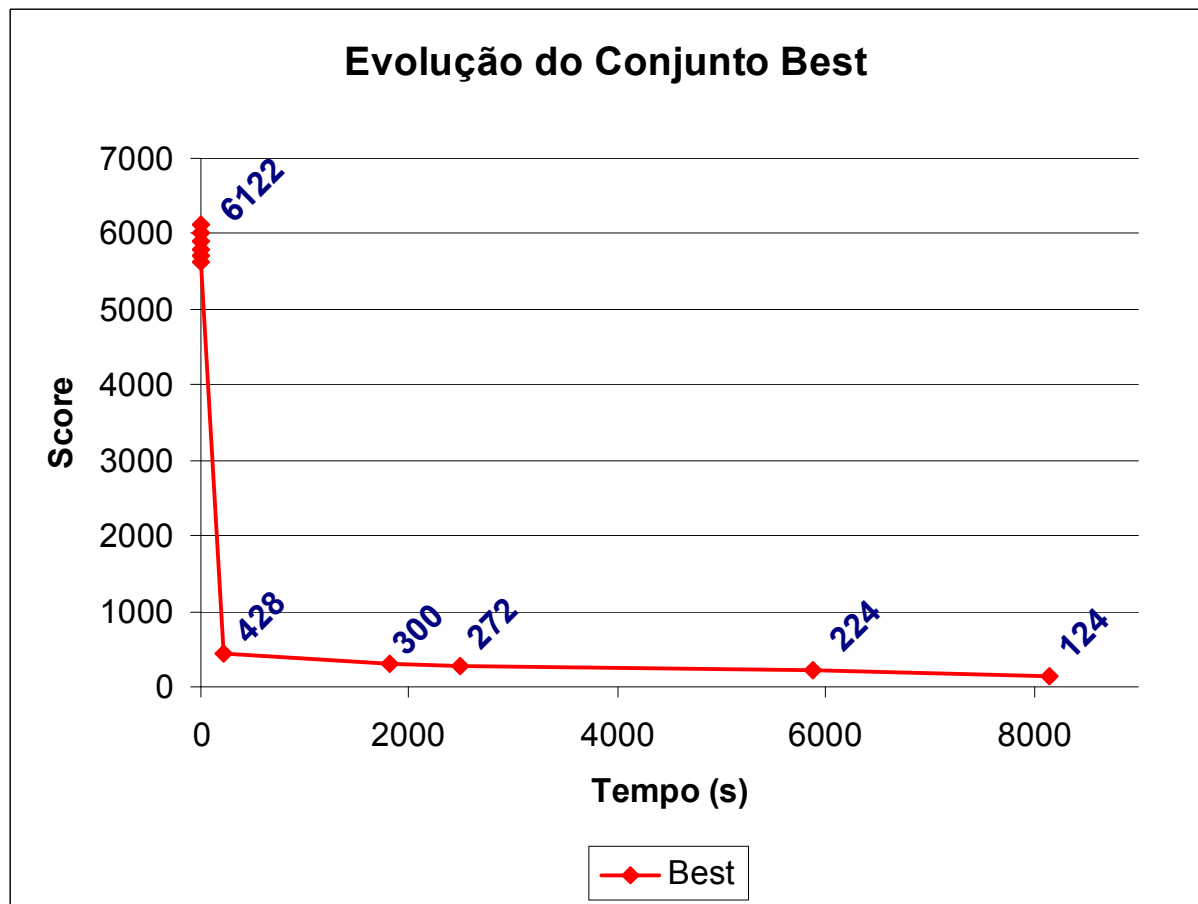


Gráfico 5 - Evolução do conjunto *Best* para o problema real

8.2 Timetabling Resultante

O TT resultante do processo de alocação é apresentado no quadro 26. Nele temos a alocação de 184 períodos de tempo, num total de 1398 horas x homem de plantão de dúvidas, distribuídos ao longo da semana. As informações detalhadas sobre o desvio dos resultados em relação ao esperado são apresentadas no Apêndice A.

Quadro 26 – *Timetabling* resultante para o problema

Unidade	Dia	Professor	Disciplina(s)	Entrada	Saída
Col. Alphaville	Segunda-Feira	Vitor	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	16:00:00
	Terça-Feira	Janduí	Biol.	14:00:00	16:00:00
Col. Marquês	Segunda-Feira	Jefferson	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	16:00:00
Curso Alphaville	Segunda-Feira	Amaral	Geogr.	14:00:00	22:00:00
		Daniela	Port.	14:00:00	21:00:00
		Leandro	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
	Terça-Feira	Érick	Mat./Fís.	14:00:00	22:00:00
		Paula	Biol./Quím.	14:00:00	22:00:00
		Renato	Hist.	14:00:00	22:00:00
		Vitor	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
	Quarta-Feira	Otávio	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
	Quinta-Feira	Jefferson	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
	Sexta-Feira	Rodrigues	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	21:00:00
	Sábado	Há	Fís./Mat.	09:00:00	18:00:00
		Kandi	Mat./Quím.	09:00:00	18:00:00
		Rosa	Port.	09:00:00	18:00:00
Curso Morumbi	Segunda-Feira	Ana	Port.	14:00:00	22:00:00
		Batista	Fís./Mat.	14:00:00	22:00:00
		Celso	Biol./Quím.	14:00:00	22:00:00
		Gheorge	Geogr.	14:00:00	22:00:00
	Terça-Feira	Otávio	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
	Quarta-Feira	Crispim	Hist.	14:00:00	22:00:00
		Guilherme	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
	Quinta-Feira	Rosa	Port.	14:00:00	22:00:00
		Tiago	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
	Sexta-Feira	Otávio	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	21:00:00

	Sábado	Felipe	Mat./Fís./Quím.	09:00:00	18:00:00
Curso Paraíso	Segunda-Feira	Felipe	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
		Lincoln	Biol./Quím.	14:00:00	22:00:00
	Terça-Feira	Fanti	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
		Mathias	Geogr.	14:00:00	22:00:00
		Quirino	Mat./Fís.	14:00:00	22:00:00
	Quarta-Feira	Gláuce	Port.	14:00:00	22:00:00
		Quirino	Mat./Fís.	14:00:00	22:00:00
		Renato	Hist.	14:00:00	22:00:00
		Vitor	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
	Quinta-Feira	Corrêa	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	21:00:00
		Daniela	Port.	14:00:00	22:00:00
		Há	Fís./Mat.	14:00:00	21:00:00
	Sábado	Tiago	Mat./Fís./Quím.	09:00:00	18:00:00
Curso Paulista	Segunda-Feira	Casé	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
		Crispim	Hist.	14:00:00	21:00:00
		Gláuce	Port.	14:00:00	22:00:00
		José	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
		Maurício	Biol./Quím.	14:00:00	22:00:00
		Ricardo	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
		Valter	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
	Terça-Feira	Casé	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
		Futema	Fís./Mat.	14:00:00	22:00:00
		José	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
		Maurício	Biol./Quím.	14:00:00	21:00:00
		Valter	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
		Érika	Port.	14:00:00	21:00:00
	Quarta-Feira	Casé	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
		José	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
		Ricardo	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
		Valter	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
	Quinta-Feira	Casé	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
		Gheorge	Geogr.	14:00:00	21:00:00
		José	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
		Maurício	Biol./Quím.	14:00:00	22:00:00
		Ricardo	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
		Valter	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
	Sexta-Feira	Brasileiro	Fís./Mat.	14:00:00	22:00:00
		Maurício	Biol./Quím.	14:00:00	22:00:00
		Tiago	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
	Sábado	Amaral	Geogr.	09:00:00	18:00:00
		Casé	Mat./Fís./Quím.	09:00:00	18:00:00
		Edison	Hist.	09:00:00	18:00:00
		Gláuce	Port.	09:00:00	18:00:00
		José	Mat./Fís./Quím.	09:00:00	18:00:00

		Maurício	Biol./Quím.	09:00:00	18:00:00
		Ricardo	Mat./Fís./Quím.	09:00:00	18:00:00
		Valter	Mat./Fís./Quím.	09:00:00	18:00:00
Col. Vergueiro	Segunda-Feira	Rodrigues	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	16:00:00
Col. Cantareira	Segunda-Feira	Otávio	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	16:00:00
Curso Santo Amaro	Segunda-Feira	Alisson	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
		Há	Fís./Mat.	14:00:00	22:00:00
		Jefferson	Mat./Fís./Quím.	20:00:00	22:00:00
		Rosa	Port.	14:00:00	21:00:00
	Terça-Feira	Hideo	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
		Leandro	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
	Quarta-Feira	Dias	Hist.	14:00:00	21:00:00
		Gheorge	Geogr.	14:00:00	21:00:00
		Hideo	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	20:00:00
		Lincoln	Biol./Quím.	14:00:00	21:00:00
	Quinta-Feira	Alisson	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
		Érick	Mat./Fís.	14:00:00	22:00:00
		Quirino	Mat./Fís.	14:00:00	22:00:00
	Sexta-Feira	Casé	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	18:00:00
		Mário	Mat./Fís./Quím.	18:00:00	22:00:00
		Serra	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
	Sábado	Celso	Biol./Quím.	09:00:00	18:00:00
		Daniela	Port.	09:00:00	18:00:00
		Leandro	Mat./Fís./Quím.	09:00:00	18:00:00
		Nivalda	Geogr.	09:00:00	18:00:00
		Quirino	Mat./Fís.	09:00:00	18:00:00
		Rodrigues	Mat./Fís./Quím.	08:00:00	18:00:00
		Bruno	Hist.	09:00:00	18:00:00
Col. Pinheiros	Segunda-Feira	Serra	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	16:00:00
Curso Pinheiros	Segunda-Feira	Alexandre	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
	Terça-Feira	Amaral	Geogr.	14:00:00	22:00:00
		Ana	Port.	14:00:00	22:00:00
		Cláudia	Quím.	14:00:00	22:00:00
		Dias	Hist.	14:00:00	22:00:00
		Felipe	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
	Quarta-Feira	Izaías	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
		Janduí	Biol.	14:00:00	22:00:00
		Rosa	Port.	14:00:00	22:00:00
	Quinta-Feira	Guilherme	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
	Sexta-Feira	Fanti	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	21:00:00
	Sábado	Guilherme	Mat./Fís./Quím.	09:00:00	18:00:00
Curso Pompéia	Segunda-Feira	Cintia	Fís./Mat.	14:00:00	22:00:00
		Mathias	Geogr.	14:00:00	22:00:00
	Terça-Feira	Crispim	Hist.	14:00:00	22:00:00
		Rosa	Port.	14:00:00	21:00:00

	Quarta-Feira	Tiago	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
		Paula	Biol./Quím.	14:00:00	22:00:00
		Serra	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
	Quinta-Feira	Serra	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
	Sexta-Feira	Kandi	Mat./Quím.	14:00:00	22:00:00
		Luiz	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	21:00:00
	Sábado	Brasileiro	Fís./Mat.	09:00:00	18:00:00
		Jemuso	Quím.	09:00:00	18:00:00
		Érika	Port.	09:00:00	18:00:00
Col. Luíz Góes	Segunda-Feira	Hideo	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	16:00:00
Curso Santana	Segunda-Feira	Aguena	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
		Dias	Hist.	14:00:00	22:00:00
		Kandi	Mat./Quím.	14:00:00	22:00:00
		Paula	Biol./Quím.	14:00:00	22:00:00
	Terça-Feira	Corrêa	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
		Nivalda	Geogr.	14:00:00	22:00:00
	Quarta-Feira	Daniela	Port.	14:00:00	22:00:00
		Mário	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
	Quinta-Feira	Gláuce	Port.	14:00:00	22:00:00
		Mário	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	21:00:00
	Sexta-Feira	Batista	Fís./Mat.	14:00:00	22:00:00
	Sábado	Fanti	Mat./Fís./Quím.	09:00:00	18:00:00
Col. Paz	Segunda-Feira	Otávio	Mat./Fís./Quím.	20:00:00	22:00:00
Curso São Bernardo	Segunda-Feira	Nivalda	Geogr.	14:00:00	22:00:00
		Renato	Hist.	14:00:00	22:00:00
		Tiago	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
	Terça-Feira	Brasileiro	Fís./Mat.	14:00:00	22:00:00
		Daniela	Port.	14:00:00	22:00:00
		Kandi	Mat./Quím.	14:00:00	22:00:00
		Lincoln	Biol./Quím.	14:00:00	22:00:00
	Quarta-Feira	Cláudia	Quím.	14:00:00	22:00:00
		Érick	Mat./Fís.	14:00:00	22:00:00
	Quinta-Feira	Hideo	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	17:00:00
	Sábado	Alexandre	Mat./Fís./Quím.	09:00:00	18:00:00
Col. Granja	Segunda-Feira	Mário	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	16:00:00
Curso Tatuapé	Segunda-Feira	Edison	Hist.	14:00:00	22:00:00
		Vinícius	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
	Terça-Feira	Gheorge	Geogr.	14:00:00	22:00:00
		Gláuce	Port.	14:00:00	21:00:00
		Vinícius	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
	Quarta-Feira	Corrêa	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
		Jemuso	Quím.	14:00:00	22:00:00
	Quinta-Feira	Celso	Biol./Quím.	14:00:00	22:00:00
		Vinícius	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
	Sexta-Feira	Vinícius	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	21:00:00

	Sábado	Ana	Port.	09:00:00	18:00:00
		Vinícius	Mat./Fís./Quím.	09:00:00	18:00:00
Curso Santo André	Segunda-Feira	Janduí	Biol.	14:00:00	22:00:00
		Quirino	Mat./Fís.	14:00:00	22:00:00
		Érika	Port.	14:00:00	22:00:00
	Terça-Feira	Edison	Hist.	14:00:00	22:00:00
		Izaías	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
	Quarta-Feira	Aguena	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
		Nivalda	Geogr.	14:00:00	22:00:00
	Quinta-Feira	Otávio	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	17:00:00
Curso Jabaquara	Sexta-Feira	Jefferson	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
	Sábado	Otávio	Mat./Fís./Quím.	09:00:00	18:00:00
	Segunda-Feira	Futema	Fís./Mat.	14:00:00	22:00:00
		Jemuso	Quím.	14:00:00	22:00:00
	Terça-Feira	Alexandre	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
	Quarta-Feira	Cintia	Fís./Mat.	14:00:00	22:00:00
		Edison	Hist.	14:00:00	22:00:00
		Mathias	Geogr.	14:00:00	22:00:00
		Rodrigues	Mat./Fís./Quím.	14:00:00	22:00:00
		Érika	Port.	14:00:00	22:00:00
	Quinta-Feira	Cláudia	Quím.	14:00:00	22:00:00
		Janduí	Biol.	14:00:00	22:00:00
	Sábado	Jefferson	Mat./Fís./Quím.	13:00:00	17:00:00

9 Discussão Sobre os Resultados

Como podemos observar no gráfico 5 (seção 8.1), a melhor solução encontrada possui um *score* de 124. Esse *score*, discriminado por parcelas da função objetivo, é apresentado no quadro 27.

Quadro 27 – *Score* por parcelas da função objetivo

Parcela	Score
Carga Horária das Turmas	0
Carga Horária dos Professores	76
Preferência dos Professores	0
Deslocamento dos Professores	48
Total	124

No quadro 27 podemos ver que o *score* devido ao não cumprimento da carga horária especificada para as turmas é 0, o que mostra que todas as turmas receberam, na alocação, número suficiente de horas de plantão para suprir toda a sua grade horária. Com relação à carga horária dos professores, vemos que a parcela do *score* possui um valor 76, mostrando que 2 professores, dos 52, foram alocados a menos horas do que o mínimo especificado como parâmetro de entrada. Os resultados para esses professores são apresentados no quadro 28 a seguir.

Quadro 28 – Professores com déficit de carga horária alocada

Professor	Disciplina(s)	C.H. Min. Esperada	C.H. Alocada
Bruno	Hist.	10	9
Otávio	Mat. / Fís. / Quím.	40	39

Como podemos observar no quadro 28, a carga horária alocada para cada um dos professores, apesar de ser menor que a esperada, é um valor muito próximo desta nos dois casos. Isso mostra que a solução encontrada é aceitável segundo o critério de carga horária mínima esperada para os professores.

No critério de preferência dos professores por unidades, vemos no quadro 27 que o *score* foi de 0, o que significa que todas as preferências foram cumpridas pela alocação.

Com relação ao critério de deslocamentos diários entre unidades, temos o valor de 48 pontos, o que indica que houve deslocamentos diários. O quadro 29 abaixo mostra os deslocamentos efetuados que penalizaram a função objetivo.

Quadro 29 – Deslocamentos que penalizaram a função objetivo

Professor	Disciplina(s)	Dia	Unidade	H.E.	H.S.
Jefferson	Mat./Fís./Quím.	Segunda-Feira	Col. Marquês	14:00:00	16:00:00
			Curso Santo Amaro	20:00:00	22:00:00
Otávio	Mat./Fís./Quím.	Segunda-Feira	Col. Cantareira	14:00:00	16:00:00
			Col. Paz	20:00:00	22:00:00

Considerando os 184 períodos alocados, esses dois deslocamentos são considerados aceitáveis e o TT gerado é de boa qualidade em relação aos deslocamentos diários.

Do exposto nesta seção, concluímos que os resultados são de boa qualidade em relação aos quatro parâmetros avaliados pela função objetivo: carga horária esperada para as turmas, carga horária mínima esperada para os professores, preferência dos professores por unidades e deslocamentos diários dos professores entre unidades.

10 Conclusões

Embora, numa abordagem heurística, não possamos afirmar com certeza que um resultado ótimo foi encontrado, o que provavelmente não aconteceu, a análise dos resultados feita no capítulo 8 mostra que o TT gerado é de muito boa qualidade. Esses resultados foram apresentados aos coordenadores do plantão de dúvidas que são os responsáveis por elaborar o horário manualmente. Estes ficaram muito satisfeitos e consideraram o TT resultante como sendo de melhor qualidade do que o gerado pelo processo manual. Além disso, mostraram-se admirados com o fato de um trabalho que demorava 10 dias para ser concluído e exigia um grande esforço ser diminuído para aproximadamente 2 horas em apenas um clique de botão.

Apesar de os resultados ainda não terem sido apresentados aos professores, esperamos que eles também fiquem satisfeitos, pois, segundo os coordenadores, o horário gerado se mostrou melhor (em relação aos critérios de carga horária alocada, preferência por unidades e baixo número de deslocamentos) do que o TT resultante do processo manual.

Os coordenadores das unidades-escolas e os alunos também devem se mostrar satisfeitos com os resultados, pois toda a demanda por horas de plantão de todas as unidades foi cumprida pelo TT resultante.

Apesar de o TT gerado ainda não ser o definitivo, pois alguns dados de entrada, como, por exemplo, as disponibilidades dos professores, ainda sofrerão modificações até o final do ano, o programa desenvolvido é facilmente adaptável a essas modificações, bastando para isso atualizar seus cadastros e executá-lo novamente.

Do que foi exposto, concluímos que tanto o objetivo da resolução do problema, de gerar um TT que corresponda ao grau de satisfação conjunta dos interessados, como o objetivo específico deste trabalho, de implementar um sistema capaz de atingir o objetivo da resolução, ambos foram atingidos.

O algoritmo desenvolvido pode também, com algumas adaptações, facilmente ser expandido para resolver outros tipos de problemas parecidos, como, por exemplo, a alocação de enfermeiros e médicos aos plantões em hospitais, de faxineiros à escala de limpeza e a alocação de professores às aulas convencionais em colégios.

Como sugestões para futuros trabalhos, sugerimos a pesquisa no desenvolvimento de um *framework* para problemas de TT. Um *framework* é um programa inacabado que capta as características genéricas de uma gama de problemas de mesma natureza. Assim, apesar de não ser possível o desenvolvimento de um único software que satisfaça a todos os problemas de TT, devido às diferenças específicas de cada caso, acreditamos ser possível o desenvolvimento de um sistema que capte as características comuns de todos os problemas da classe TT. Além disso, esse sistema *framework* deverá ser flexível o bastante para que possa ser adaptado, já como programa acabado, às características específicas de cada problema em particular.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. EVEN, S.; ITAI, A.; SHAMIR, A. **On the complexity of timetabling and multicommodity flow problems**, SIAM Journal of Computation, 5:691-703, 1976.
2. BURKE, E.K.; PETROVIC, S.; Qu, R. **Case-Based heuristic selection for timetabling problems**. Journal of Scheduling, 2006.
3. BARDADYM, V.A. **Computer-Aided school and university timetabling: the new wave**, Lecture Notes in Computer Science, 1153:22-45, Springer-Verlag, 1996.
4. FONSECA, R.S.C. **Desenvolvimento de um software para a solução de um problema típico de *TIMETABLING* em uma empresa inserida na era do conhecimento**, Trabalho de Formatura Apresentado à Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2005, 213p.
5. DANTZIG, G. **A comment on edie's traffic delays at toll booths.**, Operational Research, 2:339-341, 1954.
6. Pécora Júnior, J. E. **Esquematização de médicos em salas de emergências: uma abordagem híbrida**, Dissertação (Mestrado), IME-UNICAMP, Campinas, 2002, 79p.
7. KIRKPATRICK, S.; GELLAT, D. C.; VECCHI, M. P. **Optimizations by Simulated Annealing**. Science v. 220, pp. 671-680, 1983.
8. NASCIMENTO E SILVA, A.S.; SAMPAIO, R.M.; ALVARENGA, G.B. **Uma aplicação de simulated annealing para o problema de alocação de salas** Departamento de Ciência da Computação - UFLA, 2005.
9. PEREIRA DA COSTA, F. **Programação de horário em escolas via GRASP e Busca Tabu**, Monografia de Graduação em Engenharia de Produção, UFOP, 2003.
10. FEO, T.A.; RESENDE, M.G.C. **Greedy randomized adaptive search procedures**, Journal of Global Optimization, 6:109-133, 1992.
11. MOREIRA, M. I.; FREITAS, J. **Algoritmos Genéticos e aplicações**, Slides, PUC R.S., 2005, 33p.

APÊNDICE A – Desvio dos resultados em relação ao esperado para o problema real

No quadro 30, abaixo, apresentamos o desvio da carga horário alocada para as turmas em relação ao mínimo esperado.

Quadro 30 – Desvio da carga horária alocada para as turmas

Turma	Disciplina	CH Mín. Esperada	CH Alocada	Desvio (Aloc.<Esp.)
Col. Alphaville	Mat.	2	2	0
Col. Alphaville	Quím.	2	2	0
Col. Alphaville	Fís.	2	2	0
Col. Alphaville	Hist.	0	0	0
Col. Alphaville	Geogr.	0	0	0
Col. Alphaville	Port.	0	0	0
Col. Alphaville	Biol.	2	2	0
Curso Alphaville	Mat.	56	65	0
Curso Alphaville	Quím.	56	56	0
Curso Alphaville	Fís.	56	56	0
Curso Alphaville	Hist.	8	8	0
Curso Alphaville	Geogr.	8	8	0
Curso Alphaville	Port.	16	16	0
Curso Alphaville	Biol.	8	8	0
Curso Morumbi	Mat.	48	48	0
Curso Morumbi	Quím.	48	48	0
Curso Morumbi	Fís.	48	48	0
Curso Morumbi	Hist.	8	8	0
Curso Morumbi	Geogr.	8	8	0
Curso Morumbi	Port.	16	16	0
Curso Morumbi	Biol.	8	8	0
Col. Marquês	Mat.	2	2	0
Col. Marquês	Quím.	2	2	0
Col. Marquês	Fís.	2	2	0
Col. Marquês	Hist.	0	0	0

Col. Marquês	Geogr.	0	0	0
Col. Marquês	Port.	0	0	0
Col. Marquês	Biol.	0	0	0
Curso Paraíso	Mat.	48	63	0
Curso Paraíso	Quím.	48	48	0
Curso Paraíso	Fís.	48	63	0
Curso Paraíso	Hist.	8	8	0
Curso Paraíso	Geogr.	8	8	0
Curso Paraíso	Port.	16	16	0
Curso Paraíso	Biol.	8	8	0
Curso Paulista	Mat.	180	180	0
Curso Paulista	Quím.	180	204	0
Curso Paulista	Fís.	180	180	0
Curso Paulista	Hist.	16	16	0
Curso Paulista	Geogr.	16	16	0
Curso Paulista	Port.	24	24	0
Curso Paulista	Biol.	24	40	0
Curso Pinheiros	Mat.	48	48	0
Curso Pinheiros	Quím.	48	56	0
Curso Pinheiros	Fís.	48	48	0
Curso Pinheiros	Hist.	8	8	0
Curso Pinheiros	Geogr.	8	8	0
Curso Pinheiros	Port.	16	16	0
Curso Pinheiros	Biol.	8	8	0
Curso Pompéia	Mat.	48	56	0
Curso Pompéia	Quím.	48	56	0
Curso Pompéia	Fís.	48	48	0
Curso Pompéia	Hist.	8	8	0
Curso Pompéia	Geogr.	8	8	0
Curso Pompéia	Port.	16	16	0
Curso Pompéia	Biol.	8	8	0
Curso Santana	Mat.	48	56	0
Curso Santana	Quím.	48	56	0
Curso Santana	Fís.	48	48	0
Curso Santana	Hist.	8	8	0
Curso Santana	Geogr.	8	8	0
Curso Santana	Port.	16	16	0
Curso Santana	Biol.	8	8	0
Curso Santo Amaro	Mat.	91	107	0
Curso Santo Amaro	Quím.	91	91	0
Curso Santo Amaro	Fís.	91	107	0
Curso Santo Amaro	Hist.	16	16	0
Curso Santo Amaro	Geogr.	16	16	0
Curso Santo Amaro	Port.	16	16	0
Curso Santo Amaro	Biol.	16	16	0

Curso Santo André	Mat.	36	44	0
Curso Santo André	Quím.	36	36	0
Curso Santo André	Fís.	36	44	0
Curso Santo André	Hist.	8	8	0
Curso Santo André	Geogr.	8	8	0
Curso Santo André	Port.	8	8	0
Curso Santo André	Biol.	8	8	0
Curso São Bernardo	Mat.	36	44	0
Curso São Bernardo	Quím.	36	44	0
Curso São Bernardo	Fís.	36	36	0
Curso São Bernardo	Hist.	8	8	0
Curso São Bernardo	Geogr.	8	8	0
Curso São Bernardo	Port.	8	8	0
Curso São Bernardo	Biol.	8	8	0
Curso Tatuapé	Mat.	48	48	0
Curso Tatuapé	Quím.	48	64	0
Curso Tatuapé	Fís.	48	48	0
Curso Tatuapé	Hist.	8	8	0
Curso Tatuapé	Geogr.	8	8	0
Curso Tatuapé	Port.	16	16	0
Curso Tatuapé	Biol.	8	8	0
Col. Paz	Mat.	2	2	0
Col. Paz	Quím.	2	2	0
Col. Paz	Fís.	2	2	0
Col. Paz	Hist.	0	0	0
Col. Paz	Geogr.	0	0	0
Col. Paz	Port.	0	0	0
Col. Paz	Biol.	0	0	0
Col. Vergueiro	Mat.	2	2	0
Col. Vergueiro	Quím.	2	2	0
Col. Vergueiro	Fís.	2	2	0
Col. Vergueiro	Hist.	0	0	0
Col. Vergueiro	Geogr.	0	0	0
Col. Vergueiro	Port.	0	0	0
Col. Vergueiro	Biol.	0	0	0
Col. Cantareira	Mat.	2	2	0
Col. Cantareira	Quím.	2	2	0
Col. Cantareira	Fís.	2	2	0
Col. Cantareira	Hist.	0	0	0
Col. Cantareira	Geogr.	0	0	0
Col. Cantareira	Port.	0	0	0
Col. Cantareira	Biol.	0	0	0
Col. Pinheiros	Mat.	2	2	0
Col. Pinheiros	Quím.	2	2	0
Col. Pinheiros	Fís.	2	2	0

Col. Pinheiros	Hist.	0	0	0
Col. Pinheiros	Geogr.	0	0	0
Col. Pinheiros	Port.	0	0	0
Col. Pinheiros	Biol.	0	0	0
Col.Luíz Góes	Mat.	2	2	0
Col.Luíz Góes	Quím.	2	2	0
Col.Luíz Góes	Fís.	2	2	0
Col.Luíz Góes	Hist.	0	0	0
Col.Luíz Góes	Geogr.	0	0	0
Col.Luíz Góes	Port.	0	0	0
Col.Luíz Góes	Biol.	0	0	0
Col. Granja	Mat.	2	2	0
Col. Granja	Quím.	2	2	0
Col. Granja	Fís.	2	2	0
Col. Granja	Hist.	0	0	0
Col. Granja	Geogr.	0	0	0
Col. Granja	Port.	0	0	0
Col. Granja	Biol.	0	0	0
Curso Jabaquara	Mat.	36	36	0
Curso Jabaquara	Quím.	36	36	0
Curso Jabaquara	Fís.	36	36	0
Curso Jabaquara	Hist.	8	8	0
Curso Jabaquara	Geogr.	8	8	0
Curso Jabaquara	Port.	8	8	0
Curso Jabaquara	Biol.	8	8	0
TOTAL				0

No quadro 31, abaixo, apresentamos o desvio da carga horária alocada para os professores em relação ao mínimo esperado (normalmente a carga horária do semestre anterior).

Quadro 31 – Desvio da carga horária alocada para os professores				
Professor	Peso	CH Mín. Esperada	CH Alocada	Desvio (Aloc.<Esp.)
Aguena	1	15	16	0
Alexandre	1	20	25	0
Alisson	1	10	16	0
Amaral	1	16	25	0
Ana	1	20	25	0
Batista	1	16	16	0
Brasileiro	1	20	25	0
Bruno	1	10	9	-1
Case	1	40	45	0
Celso	1	16	25	0
Cíntia	1	10	16	0
Cláudia	1	16	24	0
Corrêa	1	20	23	0
Crispim	1	20	23	0
Daniela	1	30	40	0
Dias	1	20	23	0
Edison	1	30	33	0
Érick	1	20	24	0
Fanti	1	20	24	0
Felipe	1	20	25	0
Futema	1	16	16	0
Gheorge	1	20	30	0
Gláuce	1	30	40	0
Guilherme	1	20	25	0
Há	1	20	24	0
Hideo	1	16	19	0
Izaías	1	16	16	0

Janduí	1	16	26	0
Jefferson	1	20	24	0
Jemuso	1	20	25	0
José	2	40	41	0
Kandi	1	30	33	0
Leandro	1	20	25	0
Lincoln	1	16	23	0
Luiz	1	4	7	0
Mário	1	20	21	0
Mathias	1	20	24	0
Maurício	1	40	40	0
Nivalda	1	30	33	0
Otávio	1	40	39	-1
Paula	1	20	24	0
Quirino	1	40	41	0
Renato	1	20	24	0
Ricardo	1	30	33	0
Rodrigues	1	20	27	0
Rosa	1	30	39	0
Serra	1	20	26	0
Tiago	1	36	41	0
Valter	1	40	41	0
Vinícius	1	40	40	0
Vitor	1	16	18	0
Érika	1	20	32	0
TOTAL				-2

No quadro 32, a seguir, apresentamos o número de vezes que foram desrespeitadas as preferências dos professor pelas unidades às quais gostariam de ministrar os plantões.

Quadro 32 – Preferências dos professores que foram desrespeitadas

Professor	Peso do Professor	Total de Preferências Desrespeitadas
Aguena	1	0
Alexandre	1	0
Alisson	1	0
Amaral	1	0
Ana	1	0
Batista	1	0
Brasileiro	1	0
Bruno	1	0
Case	1	0
Celso	1	0
Cíntia	1	0
Cláudia	1	0
Corrêa	1	0
Crispim	1	0
Daniela	1	0
Dias	1	0
Edison	1	0
Érick	1	0
Érika	1	0
Fanti	1	0
Felipe	1	0
Futema	1	0
Gheorge	1	0
Gláuce	1	0
Guilherme	1	0
Há	1	0
Hideo	1	0
Izaías	1	0
Janduí	1	0
Jefferson	1	0
Jemuso	1	0
José	2	0

Kandi	1	0
Leandro	1	0
Lincoln	1	0
Luiz	1	0
Mário	1	0
Mathias	1	0
Maurício	1	0
Nivalda	1	0
Otávio	1	0
Paula	1	0
Quirino	1	0
Renato	1	0
Ricardo	1	0
Rodrigues	1	0
Rosa	1	0
Serra	1	0
Tiago	1	0
Valter	1	0
Vinícius	1	0
Vitor	1	0
TOTAL GERAL		0

No quadro 33, abaixo, apresentamos o número total de deslocamentos entre unidades-escolas que os professores terão que efetuar num único dia, no TT gerado.

Quadro 33 – Deslocamentos diários dos professores

Professor	Total
Aguena	0
Alexandre	0
Alisson	0
Amaral	0
Ana	0
Batista	0
Brasileiro	0
Bruno	0
Case	0
Celso	0

Cíntia	0
Cláudia	0
Corrêa	0
Crispim	0
Daniela	0
Dias	0
Edison	0
Érick	0
Érika	0
Fanti	0
Felipe	0
Futema	0
Gheorge	0
Gláuce	0
Guilherme	0
Há	0
Hideo	0
Izaías	0
Janduí	0
Jefferson	1
Jemuso	0
José	0
Kandi	0
Leandro	0
Lincoln	0
Luiz	0
Mário	0
Mathias	0
Maurício	0
Nivalda	0
Otávio	1
Paula	0
Quirino	0
Renato	0
Ricardo	0
Rodrigues	0
Rosa	0
Serra	0
Tiago	0
Valter	0
Vinícius	0
Vitor	0
TOTAL GERAL	2