



UNILASALLE
CENTRO UNIVERSITÁRIO LA SALLE



ALEXANDRE DE OLIVEIRA LOUREIRO

**UTILIZANDO TÉCNICAS DE METAHEURÍSTICAS PARA RESOLVER
PROBLEMAS DE ALOCAÇÃO DE RECURSOS FINITOS**

CANOAS, 2011

ALEXANDRE DE OLIVEIRA LOUREIRO

**UTILIZANDO TÉCNICAS DE METAHEURÍSTICAS PARA RESOLVER
PROBLEMAS DE ALOCAÇÃO DE RECURSOS FINITOS**

Trabalho de conclusão apresentado para banca examinadora do curso de Ciência da Computação do Centro Universitário Lasalle – Unilasalle, como exigência parcial para obtenção do grau de Bacharel em Ciência da Computação.

Orientação: Prof^ª. Dra. Patrícia Kayser Vargas Mangan

CANOAS, 2011

ALEXANDRE DE OLIVEIRA LOUREIRO

**UTILIZANDO TÉCNICAS DE METAHEURÍSTICAS PARA RESOLVER
PROBLEMAS DE ALOCAÇÃO DE RECURSOS FINITOS**

Trabalho de conclusão aprovado como requisito parcial para a obtenção de grau de bacharel em Ciências da Computação pelo Centro Universitário Lasalle – Unilasalle.

Aprovado pela banca examinadora em 30 de junho de 2011.

BANCA EXAMINADORA:

Prof^a. Dra. Patrícia Kayser Vargas Mangan
Unilasalle

Prof^o. Me. Rafael Kunst
Unilasalle

Prof^o. Dr. Mozart Lemos de Siqueira
Unilasalle

Aos meus pais, Paulo e Síría, por sua dedicação e amor.

A minha esposa Fabiana, e filhas, Marina e Luiza por sua paciência e compreensão durante esse tempo de aprendizado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha orientadora Prof^a. Dra. Patrícia Kayser Vargas Mangan pela orientação e incentivo e apoio nos momentos de indecisão. Por não deixar de acreditar no trabalho que foi realizado.

Agradeço a minha esposa Fabiana por sua dedicação e ajuda na correção dos textos e na formatação deste trabalho.

Agradeço aos meus amigos por sua paciência até a conclusão deste trabalho e por acreditarem que esse momento chegaria.

Por fim agradeço a todos os professores da Unilasalle por sua dedicação e ao aprendizado que foi passado ao longo desses anos de convívio.

RESUMO

O problema de alocação de veículos para uma determinada escala e horários existe em várias empresas de ônibus e também é uma das dificuldades encontradas pela AGERGS (Agência Estadual de Regulação dos Serviços Públicos Delegados do Rio Grande do Sul). Problemas deste tipo são tratados como pertencentes à classe de *timetabling problems*, os quais podem ser solucionados com diferentes técnicas computacionais. Uma característica de *timetabling problems* é a sua complexidade ser NP-hard. Neste contexto, o trabalho desenvolvido possui como problema de pesquisa o estudo sobre técnicas computacionais para a definição da frota mínima para suprir uma grade de horários de transporte público. Este estudo propõe resolver de forma eficiente este problema explorando técnicas de Metaheurísticas. Como solução proposta destaca-se a utilização de técnicas de Metaheurísticas para o aperfeiçoamento do desempenho de uma solução prévia, efetuando novas combinações além das técnicas de GRASP e Multiagentes já utilizadas.

Palavras-Chave: Inteligência Artificial, *Timetabling problem*, Metaheurística, Busca Tabu, Sistema Multiagentes.

ABSTRACT

The problem of vehicles allocation for a specific schedule and timetable has taken place in bus companies. It is also one of the difficulties found for AGERGS (State Agency for Regulation of Guided Public Services in Rio Grande do Sul). Problems like this are classified as timetabling problems, which can be solved with different computational techniques. A timetabling characteristic is its NP-hard complexity. This paper has as research problem, studies about computational techniques to define the minimum amount of vehicles which fit a huge timetable schedule of public transportation. This study suggests efficient solutions for this problem, exploring metaheuristic techniques for improvements in regard to performance of a previous solution, matching new combinations as well as GRASP techniques and Multiagents already used.

Key-words: Artificial Intelligence, Timetabling problem, Metaheuristic, Tabu Search, Multiagent System.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 ALGORITMO DE BUSCA TABU.....	27
FIGURA 2. MODELO UTILIZADO.....	32
FIGURA 3. MONTAGEM DA TABELA DE HORÁRIOS	34
FIGURA 4. FLUXOGRAMA DA BUSCA TABU IMPLEMENTADA.....	37
FIGURA 5 - ARQUITETURA DO SMA.....	38
FIGURA 6 - TOTAL DE ÔNIBUS CADASTRADO, AGERGS E MODELO SMA.....	40
FIGURA 7 - ÔNIBUS E HORÁRIOS ALEATÓRIOS DAS EMPRESAS BENTO, OZELAME E DITRENTA.....	42
FIGURA 8 - ÔNIBUS SEQÜENCIAIS E HORÁRIOS ALEATÓRIOS DAS EMPRESAS BENTO, OZELAME E DITRENTA	44
FIGURA 9 - ÔNIBUS E HORÁRIOS SEQÜENCIAIS DAS EMPRESAS BENTO, OZELAME E DITRENTA.....	45
FIGURA 10 - ÔNIBUS ALEATÓRIOS E HORÁRIOS SEQÜENCIAIS DAS EMPRESAS BENTO, OZELAME E DITRENTA	46
FIGURA 11 - TEMPOS DE PROCESSAMENTO DOS MODELOS SMA E BUSCA TABU.....	48

LISTA DE TABELAS

TABELA 2 RESULTADOS SOBRE FROTA EFETIVA.....	47
TABELA 3. TEMPOS DE PROCESSAMENTO DO MODELO SMA	47
TABELA 4 TEMPOS DE PROCESSAMENTO DA BUSCA TABU.....	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGERGS	Agência Estadual de Regulação dos Serviços Públicos Delegados do Rio Grande do Sul
AUNE	Aglomerção Urbana do Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul
BT	Busca Tabu
GRASP	<i>Greedy Randomized Adaptive Search Procedure</i>
IA	Inteligência Artificial
JAMON	<i>Java Application Monitor</i>
NP-Hard	<i>Nondeterministic Polynomial-Time Hard</i>
SMA	Sistema Multiagente

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	PROBLEMA	14
2.1	AGERGS	15
2.2	Timetabling problems	17
2.3	Considerações Finais	17
3	METAHEURÍSTICAS	18
3.1	Classificação da Metaheurísticas	19
3.2	Trabalhos relacionados com Busca Tabu	22
3.3	Busca Tabu	24
3.4	Considerações Finais	28
4	SOLUÇÃO PROPOSTA	29
4.1	Arquitetura do Modelo	30
4.2	Tabela de Horários	32
4.3	Funcionamento do Modelo	34
4.4	Modelo proposto por Giordano (2008)	37
4.5	Considerações Finais	38
5	RESULTADOS	39
5.1	Ônibus aleatórios e Horários aleatórios	41
5.2	Ônibus seqüenciais e Horários aleatórios	43
5.3	Ônibus e Horários Seqüenciais	44
5.4	Ônibus aleatório e Horário seqüencial	46
5.5	Considerações Finais	48
6	CONCLUSÃO	50
	REFERÊNCIAS	52
	APÊNDICE A -TABELA DE HORÁRIOS DA EMPRESA BENTO GONÇALVES ...	55
	APÊNDICE B – TABELA DE HORÁRIOS DA EMPRESA DITRENTTO	57
	APÊNDICE C – TABELA DE HORÁRIOS DA EMPRESA OZELAME	59
	APÊNDICE D – EXEMPLO DE RESULTADO DOS HORÁRIOS DA EMPRESA BENTO	61
	APÊNDICE E – EXEMPLO DE RESULTADO DOS HORÁRIOS DA EMPRESA DITRENTTO	63

APÊNDICE F – EXEMPLO DE RESULTADO DOS HORÁRIOS DA EMPRESA OZELAME.....	65
APÊNDICE G– EXEMPLO DO FORMATO DO JAMON.....	68

1 INTRODUÇÃO

O problema de alocação de recursos finitos para uma determinada tarefa tem sido tema de estudo de diversas áreas. Em Ciência da Computação esse problema é particularmente pesquisado dentro da classe de *timetabling problems*. Os *timetabling problems* tem complexidade de NP- *hard* dificultando assim achar uma solução definitiva (ótima). Os *timetabling problems* podem ser solucionados com diferentes técnicas computacionais (LOBO, 2005).

O problema de alocação de veículos de transporte urbano para uma determinada escala e horários podem ser tratados como pertencentes à classe de *timetabling problems*. Esta é uma das dificuldades encontradas em várias empresas de ônibus e também pela Agência Estadual de Regulação dos Serviços Públicos Delegados do Rio Grande do Sul (AGERGS). Dentro dos vários aspectos deste problema, a determinação da frota mínima necessária para atender escalas horárias apresenta-se também como desafiador, sendo necessário dentro da sistemática das agências reguladoras.

Neste trabalho foi realizado um estudo das técnicas de Metaheurística para desenvolver uma ferramenta contendo uma solução híbrida visando obter o melhor resultado com o melhor desempenho. As técnicas existentes de Inteligência Artificial (IA) aplicadas de forma isoladas nem sempre geram resultados ótimos. Uma técnica usada para aumentar a eficiência ao efetuar o cálculo de alocação de veículos é combinar várias técnicas de IA, criando uma solução que é classificada como híbrida. Esta abordagem particularmente é interessante, pois pode-se utilizar as vantagens de uma técnica para suprir as desvantagens da outra técnica que compõem o modelo.

Em estudo já realizado foi proposta uma solução híbrida na qual foi usado o algoritmo GRASP combinado com Sistema Multiagentes (SMA), essa aplicação foi desenvolvida por Gilberto Giordano (2008). Este estudo partiu dos resultados obtidos da combinação do algoritmo GRASP e SMA propondo melhorar sua eficiência utilizando outras técnicas Metaheurísticas.

Uma das técnicas utilizadas em trabalhos relacionados é a Busca Tabu ou *Tabu Search*. A Busca Tabu (BT) é uma das técnicas de Metaheurísticas mais

citadas na literatura (BLUM, 2003; SOUZA, 2009; BOUGHACI, 2009) e por isso optou-se por avaliar esta técnica no contexto da determinação de frota mínima.

Assim, tendo como base resultados já obtidos em outros estudos, objetiva-se servir de contra ponto para avaliação do sistema já criado, gerando assim mais instrumentos de pesquisa para futuros trabalhos.

Este trabalho tem por objetivo buscar uma solução viável usando a técnica da Busca Tabu visando melhorar o desempenho em relação ao trabalho usando Sistemas Multiagentes (SMA) de Giordano (2008). Para isso os dois modelos foram testados no mesmo ambiente onde foram monitorados pelo *Java Application Monitor* (JAMON) (GIORDANO, 2008). Os resultados foram analisados com base nos dados obtidos do modelo SMA, pois seus resultados já foram testados com sucesso.

O restante deste documento está organizado da seguinte forma. O Capítulo 2 tratará do problema de estudo apresentando a AGERGS e o *Timetabling problems*, o Capítulo 3 tratará sobre Metaheurísticas e suas classificações e a técnica de Busca Tabu. O Capítulo 4 contém a solução proposta apresentando o modelo utilizado e o ambiente onde foram realizados os testes, enquanto no Capítulo 5 é analisado os resultados encontrados do modelo proposto utilizando Busca Tabu contra o modelo que utiliza Sistema Multiagentes. Finalmente, o Capítulo 6 apresenta a conclusão do trabalho mostrando qual dos dois modelos obteve melhor resultado.

2 PROBLEMA

O problema existente nas empresas de ônibus também está presente na AGERGS e consiste na alocação de ônibus nas linhas e horários definidos.

A AGERGS, responsável pela regulamentação da tarifa de ônibus intermunicipais, tem dificuldade de encontrar um número ótimo de veículos (ônibus) devido à grande quantidade de combinações que podem ser realizadas nesse problema (GIORDANO, 2008).

Este problema abrange variáveis complexas que influenciam na tomada de decisão para quantificar quantos ônibus são necessários para atender essa demanda de linhas e horários.

Algumas dessas variáveis são citadas abaixo (GIORDANO, 2008):

- duração da viagem;
- capacidade dos veículos;
- regulamento de segurança;
- número máximo de horas trabalhadas por dia para funcionários e veículos;
- tabela de horários;
- período de repouso obrigatório;
- abastecimento;
- refeições;
- custo de rodagem;
- custo de remoção ou adição de veículo à frota ativa.

Até o ano de 2008 a AGERGS não utilizava meios computacionais baseados em IA ou Metaheurística para a solução do cálculo de frota mínima (GIORDANO, 2008). Os técnicos da AGERGS, até o ano de 2008, utilizavam planilhas eletrônicas e sua experiência para encontrar inconsistência nos dados apresentados pelas empresas de ônibus (GIORDANO, 2008).

Na continuidade deste capítulo, apresenta-se algumas considerações adicionais sobre a AGERGS e na seqüência sobre Timetabling Problems.

2.1 AGERGS

A criação da AGERGS foi no ano de 1997 com a lei estadual 10.931 art. 3, parágrafo único, alínea “s” em 09/01/1997. É uma autarquia com autonomia financeira, funcional e administrativa para poder realizar suas atividades com eficiência e imparcialidade.

Os objetivos da AGERGS são assegurar que a prestação de serviços à população sejam adequados e que tenham regularidade, continuidade, eficiência, segurança, atualidade, generalidade, cortesia e modicidade tarifária.

Também podemos citar como objetivos garantir a harmonia de interesses dos usuários e delegatários de serviços públicos e zelar pelo equilíbrio econômico-financeiro dos serviços públicos delegados.

Competência:

Serviços públicos delegados prestados no estado do Rio Grande do Sul e de sua competência ou a ele delegados por outros entes federados, em decorrência de norma legal ou regulamentar, disposição convencional ou contratual. (AGERGS)

As áreas de atuação da AGERGS são:

- energia elétrica (parceira da ANEEL);
- rodovias concedidas;
- travessias hidrográficas;
- transporte internacional de passageiros;
- estações rodoviárias;
- saneamento.

O problema proposto para este trabalho entra na área de atuação de transporte de passageiros na qual a AGERGS atua.

Na nota técnica DT nº03/2007 da AGERGS, verifica-se que a mesma não utiliza ferramentas computacionais para resolução do problema específico de definição da frota efetiva das empresas de transporte de passageiros intermunicipais para cálculo da tarifa.

Os técnicos da AGERGS usam planilhas eletrônicas e sua experiência para detectar falhas no processo de regulamentação da frota mínima necessária para

operação das linhas de ônibus concedidas. Também devem avaliar os dados apresentados pelas empresas de transporte público e validar sua veracidade. (GIORDANO, 2008)

O preço da tarifa do transporte público em uma determinada região está ligado diretamente ao número de veículos que as empresas utilizaram nas linhas de ônibus a qual tem concessão. Isso reflete na sociedade de uma forma geral, pois todos necessitam do transporte público em suas vidas. (GIORDANO, 2008)

As empresas que serão os objetos deste trabalho fazem parte da Aglomeração Urbana do Nordeste do estado do Rio Grande do Sul (AUNE), região metropolitana do município de Caxias do Sul. A AUNE foi criada pela lei complementar Nº 10.335, de 28 de dezembro de 1994, é composta pelos municípios de Caxias do Sul, Bento Gonçalves, Carlos Barbosa, Farroupilha, Tamandaré, Flores da Cunha, Garibaldi, São Marcos, Nova Pádua, Monte Belo do Sul e Santa Teresa.

A AGERGS, para poder realizar a revisão tarifária, criou notas técnicas destinadas ao transporte rodoviário intermunicipal coletivo de passageiros. (GIORDANO, 2008)

A AUNE é composta por oito empresas que citamos abaixo:

- Empresa Bento Gonçalves de Transporte LTDA;
- Danytur Viagens e Turismo LTDA;
- Ditrento Transporte LTDA;
- Empresa de Transporte Coletivo Monte Belo LTDA;
- Ozelame Transporte e Turismo LTDA;
- Santa Luiza de Transporte LTDA;
- Transporte Coletivo Santo Antônio LTDA;
- Expresso São Marcos.

Ao todo são 53 linhas a qual a AUNE atende, onde quatro empresas possuem o maior controle. Essas empresas são: Bento Gonçalves, Ditrento, Ozelame e São Marcos.

2.2 Timetabling problems

A alocação de recursos finitos em um espaço de tempo determinado está na classe de *Timetabling problems*. Este trabalho tem como problema a alocação de veículos em uma tabela horária.

Timetabling Problems podem ter várias classificações para alocação de recursos finitos para um determinado tempo ou horário. Seguem abaixo algumas dessas classificações (SCHAERF, 1999; MAPA, 2004):

- *School timetabling*, também chamado de *class-teacher problem*.
- *University course timetabling*, conhecido também como *course scheduling problem*.
- *Examination timetabling*, também conhecido como *exam scheduling problem*.
- Problema de programação de tripulações (PPT).
- Problema de roteamento de veículos (PRV).
- Problema de roteamento de veículos com janela de tempo (PRVJT)
- Problema de roteamento de veículos periódico (PRVP)

Os *Timetabling Problems* possuem uma complexidade elevada sendo classificado como NP – Difícil (COSTA e DELLA, 2006; OPREA, 2006; RODRIGUES *et al.*, 2006 apud GIORDANO, 2008).

2.3 Considerações Finais

Neste capítulo foi apresentado a AGERGS que tem como uma de suas atribuições regulamentarem o número mínimo de ônibus por empresa. Esse problema tem complexidade NP-*hard* e é chamado de *Timetabling problems*.

No capítulo seguinte é abordado as técnicas de Metaheurísticas e suas classificações e a técnica de Busca Tabu.

3 METAHEURÍSTICAS

O problema de otimização combinatória, que neste trabalho é tratado como *timetabling problem* por ser uma parte da otimização combinatória, começou a ganhar mais sucesso nas suas soluções partir dos anos 90 quando teve início a utilização de Metaheurísticas.

Metaheurística é a composição de palavras que tem origem na língua grega. Segundo o dicionário Houaiss Meta significa “no meio de, entre, atrás.” e heurística significa “encontrar, descobrir”. Dessa forma tem-se um significado de forma literal que é “encontrar no meio de ou entre algo”’. Este termo foi introduzido no meio científico por Glover em 1986, mas o termo mais usado era Heurística Moderna citada por Reever em 1993. Com o avanço das pesquisas e da utilização da Metaheurística, foi surgindo novas técnicas e os pesquisadores foram abandonando o termo Heurística Moderna e hoje a Metaheurística é um termo conhecido no meio acadêmico.

Osman e La Porte apud (BLUM, 2003) definem a Metaheurística como um processo iterativo que guia uma heurística subordinada através da combinação inteligente de diferentes conceitos, provenientes de fenômenos naturais e a exploração do espaço de busca, usando estratégias de aprendizado para estruturas, as informações como objetivo de se obter soluções eficientes perto da solução ótima.

As Metaheurísticas possuem uma função objetivo a qual guia a busca por uma solução ótima, mas quando encontram um ótimo local podem, através da execução de movimentos proporcionados pela Metaheurística utilizada, sair desse ótimo local sem prejudicar a busca. Caso não consiga obter sucesso na fuga do ótimo local, algumas técnicas possuem movimentos que mudam a função objetivo, a fim de sair do ótimo local e achar a solução mais eficiente, mais próxima da solução ótima.

Existem várias diferenças entre as Heurísticas clássicas e as Metaheurísticas, sendo que algumas são a exploração profunda das vizinhanças, regras sofisticadas de geração de vizinhança, estrutura de memória, recombinações de soluções e essa ênfase está contida na maior parte da Metaheurísticas (LA PORTE apud SIMAS, 2007).

O campo da Metaheurística para aplicação em *Timetabling Problems* é um campo de pesquisa em crescimento. A importância dos problemas de otimização combinatória, como *Timetabling Problems*, para o meio científico acadêmico e industrial/empresarial é muito grande. Devido a essa grande importância é que a Metaheurística vem ganhando mais espaço nas pesquisas, pois sua resposta para esses problemas combinatoriais é muito eficiente embora não definitiva. Cabe ressaltar que nem esta nem as outras técnicas reportadas na literatura garantem uma resposta definitiva, pois como se trata de problemas NP - *Hard* sua solução em tempo polinomial não é possível usando técnicas computacionais, partindo de uma análise conceitual dos métodos e problemas propostos (BLUM, 2003).

As Metaheurísticas possuem algumas características que são destacadas por Blum (2003):

- Estabelecer estratégias que guiam o processo de procura.
- Explorar eficazmente o espaço de procura a fim de achar soluções favoráveis.
- As técnicas possuem algoritmos que variam de simples procedimentos de procura local para processos de aprendizagem mais complexos.
- Os algoritmos encontram soluções aproximadas e não determinantes.
- Os algoritmos podem possuir mecanismos que evite as áreas de local ótimo não ficando assim em áreas limitadas do espaço de procura.
- Os conceitos básicos permitem uma descrição em nível abstrato e não são usadas para um problema em específico.
- Com conhecimento específico das heurísticas pode-se controlar as estratégia em um nível superior.

Hoje as técnicas mais avançadas usam o recurso de memória como forma de melhorar e eficiência na procura.

3.1 Classificação da Metaheurísticas

Fraga Neto (2008) utilizou em seu trabalho uma classificação para Metaheurística que se divide em quatro categorias: Busca por Entornos, Evolutivas,

Relaxação e Construtivas. As Metaheurísticas que não foram classificadas nas classes anteriores ficaram classificadas como Outras Metaheurísticas.

Metaheurísticas de Busca por Entornos: Esta Metaheurística parte de uma solução inicial. A partir dessa solução inicial a aplicação irá gerar uma série de soluções denominadas vizinhança, através de técnicas de otimização de busca procuram evitar os ótimos locais. Uma das técnicas mais utilizadas é o uso da memória longa ou curta. O tamanho da memória utilizada irá definir melhor a qualidade da busca e o tempo de processamento para encontramos uma solução favorável. Essas são algumas Metaheurísticas de busca por entornos mais utilizadas: Simulated Annealing, Busca Tabu, Busca Local Guiada (Guided Local Search).

Metaheurísticas Evolutivas: As Metaheurísticas evolutivas desenvolvem a construção de gerações que possuem uma população e essas são formadas por indivíduos. Para encontrar uma solução viável a eliminação dos indivíduos não aptos deve ocorrer. Para ocorrer a eliminação é aplicada uma função de aptidão, mas se todos os indivíduos não aptos forem eliminados não será criada uma geração eclética. A função de aptidão deve cruzar todos os indivíduos na tentativa de criar uma população heterogênea, pois a evolução da população depende da diversidade. O algoritmo deve realizar essas iterações para criar uma geração e suas populações, esse algoritmo também irá fazer o cruzamento dos indivíduos. Este modelo é baseado na teoria Darwiniana. As Metaheurísticas evolutivas mais conhecidas são: Algoritmos Genéticos, Algoritmos Meméticos, Busca Dispersa (*Scatter Search*), Reconexão de Caminhos (*Path Relinking*) e Algoritmos de Estimação de Distribuição.

Metaheurísticas de Relaxação: Existem problemas onde o número de restrições é muito elevado dificultando o processamento. Para melhorar o desempenho sem prejudicar o resultado, as restrições são diminuídas. As restrições que devem ser excluídas são aquelas de menor importância, ou seja, as restrições mais fracas. A solução encontrada também pode ser usada como solução inicial para outro algoritmo.

Dois exemplos de Metaheurísticas de relaxação são: os métodos de Relaxação Lagrangeana e *Branch and Bound Algorithms*.

Metaheurísticas Construtivas: Estas Metaheurísticas não necessitam de uma solução inicial, pois vão de forma gradual construindo soluções viáveis. Faz uso de algoritmos gulosos para construir a solução, isto é, os algoritmos gulosos assumem como solução final a primeira solução encontrada. Assim, os algoritmos gulosos são usados em grande escala para esses tipos de Metaheurísticas.

As Metaheurísticas construtivas conhecidas são: Heurísticas de *Savings* e GRASP (Greedy Randomized Adaptive Search Procedure – Procedimento de Busca Adaptativa Gulosa e Aleatória), um exemplo híbrido e eficaz, cuja primeira de suas duas fases é uma heurística construtiva.

Outras Metaheurísticas: Essas Metaheurísticas não estão classificadas nas classes anteriores, mas também são citadas como Metaheurísticas. São conhecidas como: Busca Local Iterada (*Iterated Local Search*), *Particle Swarm Optimization* e Otimização de Formigueiros ou Exames (*Ant Colony Optimization*).

Existem outros tipos de classificação que serão demonstradas abaixo como essas classificações são realizadas. (BLUM, 2003)

Inspirado na Natureza VS. Não Inspirado na Natureza: Existem algoritmos que são fortemente baseados em características encontradas na natureza, como Algoritmos Genéticos e Algoritmos da Formiga ou de Exames. A Busca Tabu poder ser classificada como não inspirada na natureza, pois não é baseado em nenhum recurso natural ou organização social.

Procura por ponto único VS. População: Essa classificação leva em conta o número de soluções encontradas em um determinado tempo. Pode-se trabalhar a solução em uma população como no Algoritmo Genético ou em uma solução única como um Algoritmo de Busca Local. A procura por um ponto único pode ser denominada como Método de Trajetória, pois traça um caminho no espaço de procura.

Função Objetiva Dinâmica VS. Função Objetiva Estática: Essa classificação é bem simples: enquanto alguns algoritmos mantêm a função objetivo sem alterações, outros alteram a função objetivo durante a execução da busca para melhorar sua eficiência. As variações da Busca Tabu é um exemplo para essa classificação, pois a Busca Tabu pode ter uma busca local simples ou pode ser com uma variação de vizinhança.

Métodos com Memória vs. Métodos sem Memória: O método que não faz uso da memória (histórico) usa somente o estado atual do processo para realizar a próxima ação do processo. O método com memória pode utilizar duas técnicas: a memória de curto prazo e a memória de longo prazo. As duas técnicas vêm sendo usadas em grande escala devido ao sucesso nos algoritmos de busca.

De acordo com Blum (2003) todas essas classificações podem ser alteradas, pois hoje existe um grande número de soluções híbridas que podem ter novas classificações. Existem algoritmos que podem ser classificados de forma diferente, como a Busca Tabu, que é classificada como Não inspirada na Natureza, mas como faz uso de memória também pode ser classificada como Inspirada na Natureza ou Método com Memória. Isto leva a três possíveis classificações para um único algoritmo, o que torna a classificação difícil de ser realizada.

Para Blum (2003) a classificação que melhor atende a todos os requisitos são os Métodos baseados em População e Métodos de Trajetória.

3.2 Trabalhos relacionados com Busca Tabu

Os estudos pesquisados contendo como problema a alocação de recursos finitos e outros estudos que apresentam soluções utilizando Metaheurística e Busca Tabu mostram resultados positivos.

O artigo de Leite (2006) tem como problema o escalonamento de tarefas em um *flowshop*. O objetivo é diminuir o atraso na execução das tarefas em relação às datas de entrega e o tempo final do processamento das tarefas. Para solucionar este problema foi proposto um Algoritmo de Busca Tabu, usando uma heurística para gerar soluções iniciais. Os resultados foram satisfatórios comparando com os resultados encontrados na literatura usando algoritmos genéticos.

O estudo realizado por Fraga Júnior (2005) para resolver o problema de roteamento de veículos em uma janela de tempo propôs uma solução usando o algoritmo *Simulated Annealing* clássico com a metodologia SA-RAI. Os resultados obtidos de 168 problemas encontrados na literatura obtiveram 13 novos que foram melhores, mas em média as soluções encontradas são semelhantes às encontradas na literatura.

A Metaheurística foi usada também por Dall'orto (2001) para buscar uma solução para o problema das redes de transporte e a técnica de Metaheurística usada nesta situação foi a Busca Tabu. Os resultados obtidos são satisfatórios, mas relata Dall'orto a necessidade de ajustes em alguns parâmetros e nos critérios de parada e estratégia. A solução encontrada é de boa qualidade e o tempo de processamento indica que está rumando para o caminho correto.

Para o problema clássico de robôs mineradores foi proposto por Rocha (2003) usar também a Busca Tabu, uma solução baseada na Metaheurística. O objetivo é fazer com que os robôs procurem os minerais em um ambiente desconhecido e os leve até as suas bases. A solução proposta usando Busca Tabu não se fez eficiente, mas se for usada como uma técnica de aprendizado pode-se usar a memorização contida na Busca Tabu para os robôs memorizarem os caminhos descobertos.

A Metaheurística apresenta um bom resultado para a solução de agendamento acadêmico no estudo realizado por Moura (2004). Foi utilizada por ele uma solução híbrida contendo Algoritmos Genéticos, Busca Tabu e GRASP.

Para Santos (2006), a Busca Tabu representa uma solução robusta para *Timetabling Problems*, especialmente quando a solução procurada está nos problemas de construção de horários para uma tabela horária de aulas e professores. A Busca Tabu normalmente mostra-se mais eficiente que outras Metaheurísticas quando se trata de problemas dessa categoria como é o *Timetabling Problems*. Santos (2006) enumerou as restrições que seu trabalho necessita para buscar uma solução viável.

Essas restrições são de suma importância para o melhor funcionamento da Busca Tabu, pois as restrições podem fazer parte dos tabus. As experiências realizadas levaram em conta o conjunto de dados sobre os ensinos médios brasileiros. O resultado obtido como principal destaque foi o baixo tempo de processamento e soluções viáveis que podem ser aplicadas no agendamento acadêmico. Existem outras técnicas de Metaheurísticas como GRASP, *Simulated Annealing*, Otimização de Formigueiros ou Enxames (*Ant Colony Optimization*) que são usadas para resolver problemas de *Timetabling Problems*.

Estes foram alguns dos artigos analisados com resultados que indicam o uso da Metaheurística chamada de Busca Tabu para a solução desejada nessa pesquisa. Deste modo, faz-se necessário apresentar mais alguns detalhes sobre esta Metaheurística. Não será utilizado um modelo híbrido, pois o modelo proposto

por Giordano (2008) usa SMA com GRASP, portanto o modelo proposto de Busca Tabu não será híbrido para evitar semelhanças. Este trabalho faz uma comparação entre os dois modelos diferentes citados a acima, medindo o desempenho em relação ao tempo e na qualidade da solução encontrada.

3.3 Busca Tabu

A Busca Tabu (BT) é um método de busca local, é uma Metaheurística conhecida como Busca Tabu ou *Tabu Search* que foi citado por Fred Glover (1986). A Busca Tabu é uma das Metaheurísticas mais usadas, e essa grande utilização deve-se a sua grande eficiência na solução de grande parte dos problemas combinatórios. Alguns dos problemas onde a BT é mais utilizada são: calendarização, roterização, seqüenciamento.

A Busca Tabu necessita partir de uma solução inicial para melhorar seu desempenho. Para conseguir atender essa proposta de busca de soluções em um determinado espaço e ótimo local são usadas estruturas de memória de curto prazo.

Para procurar a solução ótima movimenta-se dentro de um espaço de soluções que estejam dentro de uma vizinhança. Outra necessidade para a BT funcionar com eficiência é a definição dos critérios de movimento dentro do espaço de soluções e também escolher um critério de parada.

Os componentes básicos para a Busca Tabu segundo Souza (2009) são:

- critério de escolha da solução vizinha,
- atributos de movimento,
- memória de curto prazo (armazenar a lista tabu de proibições),
- tempo que um atributo ficará na lista tabu,
- critério de parada.

Esses componentes são os mais usados para a implementação de uma BT para solução de problemas combinatórios. Pode-se utilizar memória de longo prazo na BT como também projetos de intensificação de busca e diversificação e reconexão para buscar mais espaços de soluções possíveis (SOUZA, 2009).

Para evitar a ciclagem, ou seja, a geração de uma mesma seqüência de soluções já visitadas anteriormente, um algoritmo BT usa uma estrutura de memória,

a chamada Lista Tabu, assim chamada à lista de soluções “proibidas”. Sempre que uma solução é gerada, ela é colocada na Lista Tabu T. Assim, à medida que uma nova solução é gerada, a lista é aumentada.

Uma Lista Tabu clássica armazena $|T|$ soluções e funciona numa estrutura de fila de tamanho fixo, isto é, quando a lista está cheia e uma nova solução entra, a mais antiga sai. Por armazenar apenas as soluções mais recentes, essa Lista Tabu é referenciada como uma memória de curto prazo.

Um critério de aspiração é um mecanismo que retira, sob certas circunstâncias, a classificação tabu de um movimento. Um exemplo simples de aplicação dessa idéia é executar um movimento tabu somente se ele conduzir a um vizinho melhor. Esse é o chamado critério de aspiração por objetivo global. Em um movimento de troca, um elemento i da posição s_i é permutado com o elemento j da posição s_j , enquanto em um movimento de inserção, um elemento i da posição s_i é inserido na posição s_j .

A exploração da vizinhança total requer muito tempo de processamento, isto é, tem um custo muito elevado computacionalmente na maioria dos casos combinatórios. Quando isso acontece deve-se usar uma lista de candidatos, onde a vizinhança da solução é limitada a um subconjunto da vizinhança utilizada. Normalmente são analisadas só as melhores soluções e essas devem atender a um critério pelo menos.

O tamanho da lista tabu, independente dos critérios utilizados, indica a quantidade de iterações que cada solução deve fazer para exercer sua função de solução tabu. Uma solução é dita tabu quando já foi usada ou visitada em outro movimento ou interação.

Por esse motivo, o tamanho da lista tabu é comumente referenciado como a duração das regras de proibição ou duração tabu. A duração tabu deve ser longa o suficiente para prevenir a ocorrência da ciclagem e pequena o suficiente para não proibir muitos movimentos e parar o procedimento de busca muito cedo. (SOUZA, 2009)

Simas (2007) discorre sobre Busca Tabu tendo algumas diferenças em relação a Souza (2009).

Glover (1986) propôs a Busca Tabu e Glover e Laguna (1997) aperfeiçoou a Busca Tabu. A Busca Tabu constrói uma vizinhança através de métodos iterativos

com o objetivo de evitar ótimos locais através de proibições, essas proibições são chamadas de listas Tabus.

As estruturas de memória de longo prazo são utilizadas para complementar as informações da memória de curto prazo. O uso de memória é associado à criação de penalidades ou incentivos para modificar a zona de atuação procurando assim uma nova vizinhança proporcionada a achar soluções viáveis.

Com a proibição dos atributos relacionados na lista tabu, consegue-se evitar ótimos locais, partindo assim para uma busca mais profunda no espaço de busca.

A Busca Tabu segundo Simas (2007) é baseada em:

- uso de estrutura de dados, para evolução de busca não ser perdida durante o processo;
- uso de controle para verificação de novas soluções viáveis;
- uso de procedimentos para melhorar os métodos de busca.

Os métodos de busca usam estratégias de intensificação e diversificação.

A intensificação visa forçar melhorar a busca nos ótimos locais, enquanto a diversificação visa à busca longe dos ótimos locais, ou seja, locais poucos explorados.

Segundo Glover (1990), para melhorar a solução, a Busca Tabu realiza iterações onde pode melhorar ou piorar as soluções já encontradas, devido ao método proposto pela Busca Tabu, onde o melhor movimento não significa achar a melhor solução. Para que a melhor solução não seja perdida é necessário armazená-la e deve ser comparada sempre que uma solução é encontrada. Caso essa solução nova seja melhor que a última solução encontrada, deve ser substituída. Pode ocorrer de a solução viável estar presente na lista tabu e também como melhor solução. A Busca Tabu cria vizinhanças para definir o espaço de busca. Esse processo será repetido até que o número de iterações escolhido para o critério de parada seja alcançado.

Através do processo de busca usando estratégias de intensificação e diversificação o espaço de busca é aprofundado na tentativa de chegar à melhor solução.

A lista tabu tem como objetivo evitar ótimos locais. Uma maneira de representar a lista tabu seria através de uma fila circular. O tamanho pode ser o número de iterações definido que deve ser repetida a busca. Também pode-se definir o tamanho da lista tabu com o tempo que se deseja restringir uma solução ou

atributo. O tamanho de lista tabu pode determinar o tempo de busca e a qualidade na solução, ou seja, listas pequenas limitam o espaço de busca perto de ótimos locais enquanto que listas longas aumentam seu espaço de busca. Quanto maior o seu tamanho mais distante de ótimos locais fica a busca.

Soluções proibidas também podem ser as melhores, pois isso dependerá do critério de escolha da melhor solução. Caso o critério de parada seja alcançado e a solução viável esteja proibida, ela pode ser aceita como a solução ótima para os critérios adotados. O algoritmo que será apresentado abaixo usa como critério de parada o número máximo de iterações sem que a melhor solução mude. Este algoritmo de Busca Tabu é usado para minimização da solução. O código abaixo na figura 1 apresenta o algoritmo em Português estruturado.

```

Inicialização
  s := solução inicial em X;
  Nbiter := 0; (* iteração atual *)
  Melhiter := 0; (* melhor solução foi encontrada *)
  Melhsol := s; (* melhor solução global*)

  T := ∅;

Inicializar Função Critério de Aspiração A;
Enquanto (f(s) > f*) ou (Nbiter - Melhiter < Nbmax) faça
  Nbiter := Nbiter +1
  Gerar um conjunto V* de soluções Si em N(s) o qual não é
  tabu ou que A(f(s)) >= f(Si);
  Escolha uma solução s* minimizando f de V*;
  Atualize a Função critério de Aspiração A e a Lista Tabu T;
  Se (f(s*) < f (Melhsol)) então
    Melhsol := s*;
    Melhiter := Nbiter;
  Fim_se;
  s := s*;
Fim_enquanto;

```

Figura 1 Algoritmo de Busca Tabu
 Fonte: Rodrigues e Gómez (apud SIMAS, 2007).

A Figura 1 apresenta o algoritmo, onde:

- X: conjunto de soluções possíveis;
- f: Função objetivo;
- N(s): a vizinhança da solução s em X;
- T: Lista Tabu;
- V*: soluções vizinhas geradas em cada iteração;
- f*: o mais baixo limite da função objetivo f;
- A: Função critério de Aspiração

A diferença entre uma heurística de busca local para Busca Tabu está no uso de estratégias para ampliar o espaço de busca. O espaço de busca é ampliado através da criação de novas vizinhanças. A outra diferença também muito importante é que a Busca Tabu faz uso de memória de curto e longo prazo para forçar a busca por vizinhanças ainda não exploradas.

. As soluções proibidas podem ser elevadas a situação de solução viável caso o término do processo chegue ao fim e as soluções encontradas não sejam satisfatórias. Para que as soluções proibidas passem a serem consideradas soluções viáveis os critérios usados devem permitir que isso ocorra.

3.4 Considerações Finais

Neste capítulo a Metaheurísticas e suas classificações foram discutidas e a técnica de Busca Tabu foi apresentada assim como os trabalhos relacionados com essa técnica.

No próximo capítulo é apresentado como foi desenvolvido o Modelo da solução proposta utilizando Busca Tabu e modelo de Sistema de Multiagentes (SMA).

4 SOLUÇÃO PROPOSTA

O problema proposto para estudo, a alocação de recursos finitos, pertence à classe de *Timetabling problems*. Existem vários problemas de roteamento de veículos todos classificados como NP - *hard* ou NP – difícil. Mesmo sendo um problema comum para muitas empresas e com uma fácil compreensão, não é de fácil solução em termos computacionais, pois demanda alto custo de processamento.

Este é um problema de análise combinatória, requerendo uma otimização combinatória na tentativa de encontrar a melhor solução. As empresas de logísticas têm uma grande necessidade de melhorar esses roteamentos, devido ao custo que os mesmos representam. A grande maioria das empresas de logísticas trabalha com o transporte e distribuição de seus produtos através de rotas que variam de acordo com as características da carga e dos clientes.

Citamos alguns dos Problemas de Roteamento de Veículos (PRV) mais comuns: Problema do Roteamento de Veículos Capacitado, Problema do Roteamento de Veículos com Janela de Tempo, Problema do Roteamento de Veículos com Coleta e Entrega, Problema do Roteamento de Veículos com Múltiplos Depósitos, Problema do Roteamento de Veículos Periódico. O Problema proposto neste trabalho não está classificado nestes exemplos, pois sua rota é fixa e seu tempo de deslocamento é conhecido, podendo ter variações devido ao tráfego nas localidades atendidas por essas linhas de ônibus.

Também são conhecidos os horários de saída e chegada de cada linha, então o maior problema é encontrar o número de ônibus adequado para atender todas essas linhas. É necessário que o número de ônibus seja suficiente para atender todas as linhas sem que haja prejuízo para as empresas, mas também não falte ônibus para atender as necessidades da população que essas linhas de ônibus atendem.

A proposta de modelo para tentar encontrar a melhor solução viável com melhor desempenho foi desenvolvida usando a técnica de Metaheurística chamada de Busca Tabu. Baseado nos estudos pesquisados nota-se uma tendência do uso das técnicas de Metaheurística combinadas com outras técnicas computacionais para a solução do *Timetabling problems*. A técnica mais citada nos trabalhos

pesquisados é a de Busca Tabu. Portanto, a Busca Tabu indica uma solução possível para o problema proposto, tendo que ser analisada com mais ênfase.

Como parte da metodologia de avaliação, apresenta-se uma comparação dos resultados e desempenho obtidos no trabalho de Giordano (2008) onde foi proposta uma solução usando GRASP e Sistemas Multiagentes (SMA), no qual obteve sucesso para resolução do problema em questão. A solução proposta neste trabalho visa manter e/ou melhorar o resultado e desempenho para ser uma solução válida em relação ao trabalho anterior.

Neste estudo de caso realiza-se uma avaliação quantitativa e qualitativa buscando o melhor desempenho em comparação ao trabalho de Giordano (2008), a qual será apresentada no próximo capítulo. O desempenho deverá atender os critérios de qualidade, pois a qualidade do resultado deve ser mantida. Para a avaliação quantitativa de desempenho será utilizado a API Java de Monitoramento (JAMON). O JAMON monitora o tempo que a aplicação leva para encontrar o resultado esperado. Este tempo é medido em milissegundos, dessa forma pode-se determinar qual aplicação terá o desempenho mais satisfatório com relação ao fator tempo (JAMON, 2011).

Utilizou-se para a execução uma máquina com processador I5 da Intel, 4G de memória RAM. A implementação foi realizada na Linguagem JAVA 6 e a ferramenta de desenvolvimento foi o Eclipse Platform Version: 3.4.2.

4.1 Arquitetura do Modelo

A arquitetura do modelo que foi usado possui módulos principais onde um realiza a leitura e organização dos dados das linhas de ônibus de uma empresa, onde será criada uma tabela de horário. O módulo chamado Restrições possui os critérios mínimos que todos os ônibus devem ter para atender um horário de uma linha. O módulo Ônibus vai interagir com as tabelas de horários das linhas através das Restrições gerando uma solução. A Busca Tabu intensifica essa varredura com objetivo de encontrar uma solução ótima viável.

A Busca Tabu possui mecanismos de controle para a busca não ficar em locais ótimos e um desses mecanismos utilizados é memória de longo e curto prazo.

Esta memória é chamada de Lista Tabu. O tamanho da lista irá determinar o tempo que levará para encontrar a solução desejada.

Para que uma solução seja encontrada é necessário saber quais as condições para que a solução encontrada seja viável. Essas condições são chamadas de Restrições. As Restrições são de dois tipos: *Soft* e *Hard*. Para o caso em questão as restrições necessárias para encontrar a melhor solução são todas *Hard*, ou seja, todas devem ser atendidas para que a solução seja viável. As restrições que determinarão se um ônibus pode assumir um horário ou não.

As restrições utilizadas estão listadas abaixo e deve ser respeitada a ordem a seguir (GIORDANO, 2008):

- O horário atual já tem um ônibus responsável?
- O ônibus estará livre para o horário em questão?
- O local de origem do horário é igual ao último local de destino deste ônibus?
- O ônibus tem tempo para chegar até o local de origem desse horário?
- O deslocamento deste ônibus até o local de origem é válido?
- Esta linha (trajeto) é da mesma empresa que o ônibus trabalhou por último?

A figura 2 representa o modelo proposto, onde:

Restrições: possui todas as condições necessárias para que um ônibus possa assumir um horário sem prejuízo para o sistema.

Ônibus: são criados neste módulo os ônibus que acessarão as restrições e através do módulo restrições, os ônibus interagirão com a tabela de horários.

Busca Tabu: a Busca Tabu partirá de uma solução inicial e realizará um número de iterações previamente estabelecidas. A solução parcial encontrada somente será aceita se ela não estiver na lista tabu. A lista contém as melhores soluções e será comparada com a melhor solução até o momento da busca. Antes de ser submetida a análise para ser considerada melhor solução, as restrições devem ser atendidas. A função objetivo para este problema é o menor número de ônibus por empresa atendendo todas as restrições pré-estabelecidas.

Tabela de Horários: todos os horários das linhas de ônibus estão armazenados na tabela de horários, contendo todas as informações necessárias para organização das linhas.

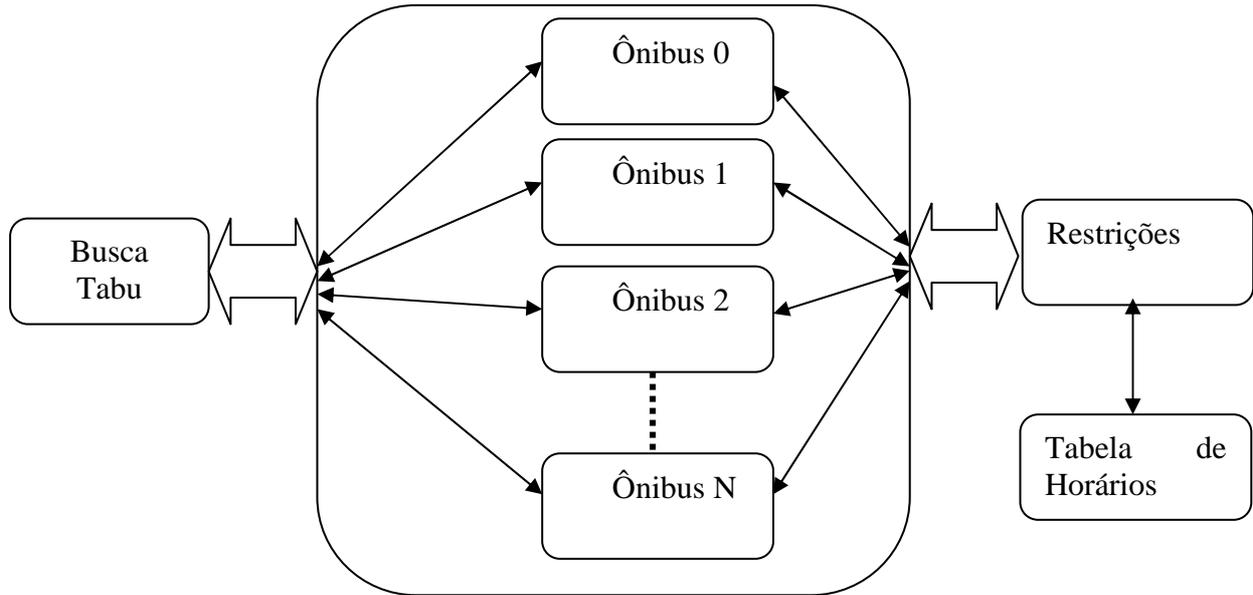


Figura 2. Modelo utilizado
Fonte: Autoria própria, 2011.

4.2 Tabela de Horários

Nesta seção será descrito como é criada a Tabela de Horário. A tabela é criada a partir da leitura de um arquivo de texto onde estão todas as informações das linhas de uma determinada empresa. Este arquivo texto deve conter as seguintes informações: nome da linha, duração do trajeto, origem, destino, ida, volta e horários de saída. O quadro 1 representa a formatação do arquivo texto com as informações das linhas. Nos apêndice A, B, C constam as tabelas horárias completa da três empresas : Bento , Ditrento e Ozelame.

```
Linha:C430-Farroupilha-Carlos.Barbosa-IDA;
Duracao:60;
Origem:CBarbosa;
Destino:Farroupilha;
06:05;
08:00;
11:10;
11:25;
16:50;
18:20;

Linha:C430-Farroupilha-Carlos.Barbosa-VOLTA;
Duracao:60;
Origem:Farroupilha;
Destino:CBarbosa;
07:00;
10:30;
11:45;
16:00;
17:40;
18:45;
```

Quadro 1 - Formato do arquivo texto das linhas de ônibus
Fonte: Giordano, 2008.

Após esse arquivo ser lido ele é organizado na forma de uma tabela de dados, contendo mais uma informação necessária para resolução do problema. A informação que será adicionada na montagem da tabela é o responsável pelo horário de uma linha. O responsável pelo horário de uma linha será um ônibus. Esse ônibus poderá assumir mais de um horário desde que respeite todas as restrições.

Após a leitura dos dados e a montagem da Tabela de Horários com todas as informações necessárias, podemos dar continuidade a busca da melhor solução para o problema em questão, ou seja, achar o menor número de ônibus por empresa, mas que atenda a todas as restrições já citadas.

A figura 3 demonstra como é montada a tabela de horários que será utilizada neste trabalho.

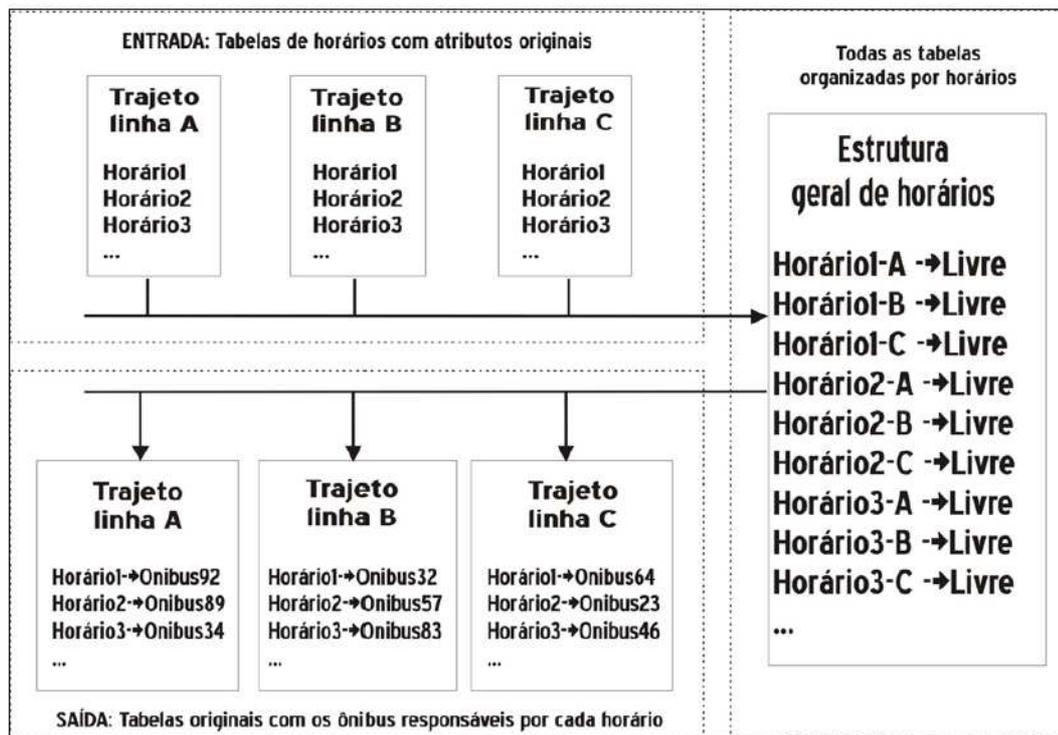


Figura 3. Montagem da Tabela de Horários
Fonte: Giordano, 2008.

Esta manipulação de dados para montagem da tabela foi usada por Giordano (2008), também será usada neste trabalho.

4.3 Funcionamento do Modelo

Este modelo tem como base o modelo desenvolvido por Giordano (2008), mas foram realizadas algumas mudanças para o funcionamento da Busca Tabu. Para iniciar a busca para solução é necessário que seja executado algumas etapas.

1º Etapa:

Leitura do arquivo contendo os dados necessários para resolução do problema. Esses dados são organizados em uma tabela a qual chamamos de tabela de horários. Após os dados serão organizados em uma estrutura que facilitará a próxima etapa.

2º Etapa:

Nesta etapa será gerada a solução inicial qual a Busca Tabu necessita para realizar suas iterações. Para que a solução inicial aconteça o Objeto Ônibus é chamado. Objeto Ônibus tem a função, através do Objeto Restrições, de acessar a Tabela de Horários. No Objeto Ônibus é criado um vetor com um número de ônibus de acordo com o tamanho da Tabela de Horários. Todos os ônibus desse Vetor irão percorrer a Tabela de Horários procurando horários no qual eles possam ser o responsável.

A Classe Ônibus possui quatro métodos que variam a forma de acesso à Tabela de Horários. A forma de acesso determina como a Tabela de Horários é manipulada e determinará quantos ônibus essa tabela possuirá. O cenário de teste é composto por quatro métodos são descritos a seguir:

- Acesso aleatório do ônibus e acesso aleatório aos horários: essa forma de acesso consiste em um ônibus acessar um horário aleatoriamente, até que todos os ônibus tenham percorrido toda a tabela de uma forma totalmente aleatória.

- Acesso aleatório do ônibus com acesso seqüencial aos horários: essa forma de acesso consiste em os ônibus aleatoriamente acessar os horários de seqüencialmente, até todos os ônibus terem percorrido a tabela de horários.

- Acesso seqüencial dos ônibus com acesso aleatório aos horários: essa forma de acesso consiste em os ônibus seqüencialmente acessar os horários aleatoriamente, até todos os ônibus terem percorrido tabela de horários.

- Acesso seqüencial dos ônibus com acesso seqüencial aos horários: essa forma de acesso consiste na forma mais simples de acesso onde todos os ônibus acessam na sua ordem natural os horários também na sua ordem natural.

3º Etapa:

São gravados os dados em um arquivo texto, esse arquivo conterà a solução inicial.

4º Etapa:

Aqui nessa etapa será realizada a Busca Tabu. A Busca Tabu contém uma Lista Tabu onde serão colocados os melhores resultados a fim de se evitar os ótimos locais. A Busca Tabu recebe a solução inicial e a armazena em uma variável chamada de solução inicial. Após é inicializada a Lista Tabu, o contador da Lista Tabu e a variável Solução. Antes de começar o laço atribuímos o valor da solução inicial a variável Solução.

No próximo passo é iniciado o laço com o número de iterações já determinado anteriormente. A cada iteração é gerada uma nova solução, essa solução é gerada através da chamada do objeto Ônibus. A solução encontrada será chamada de solução atual. A solução atual encontrada é submetida à Lista Tabu, caso essa solução encontrada estiver contida na Lista Tabu, uma nova solução atual deve ser gerada. Caso a solução atual encontrada não estiver contida na Lista Tabu, a solução atual é submetida ao novo teste onde será comparada com a Solução que na primeira iteração contém o valor da solução inicial. Se a solução atual for menor que a solução, a solução assumirá o valor da solução atual. Este valor será adicionado à Lista Tabu e será gravada essa solução em um arquivo texto. Se a solução atual for maior que solução, se retornará ao início do bloco e será gerada uma nova solução atual. Essa solução atual será novamente submetida à Lista Tabu e assim continuará o processo. Este procedimento descrito acima será repetido até atingir o número de iterações programado. Após o término das iterações a solução será testada novamente e caso seja maior que a solução inicial essa assumirá o valor de solução final, caso contrário a solução final assumirá o valor contido na variável solução. A figura 4 abaixo representa o fluxograma da Busca Tabu, tal como descrito,

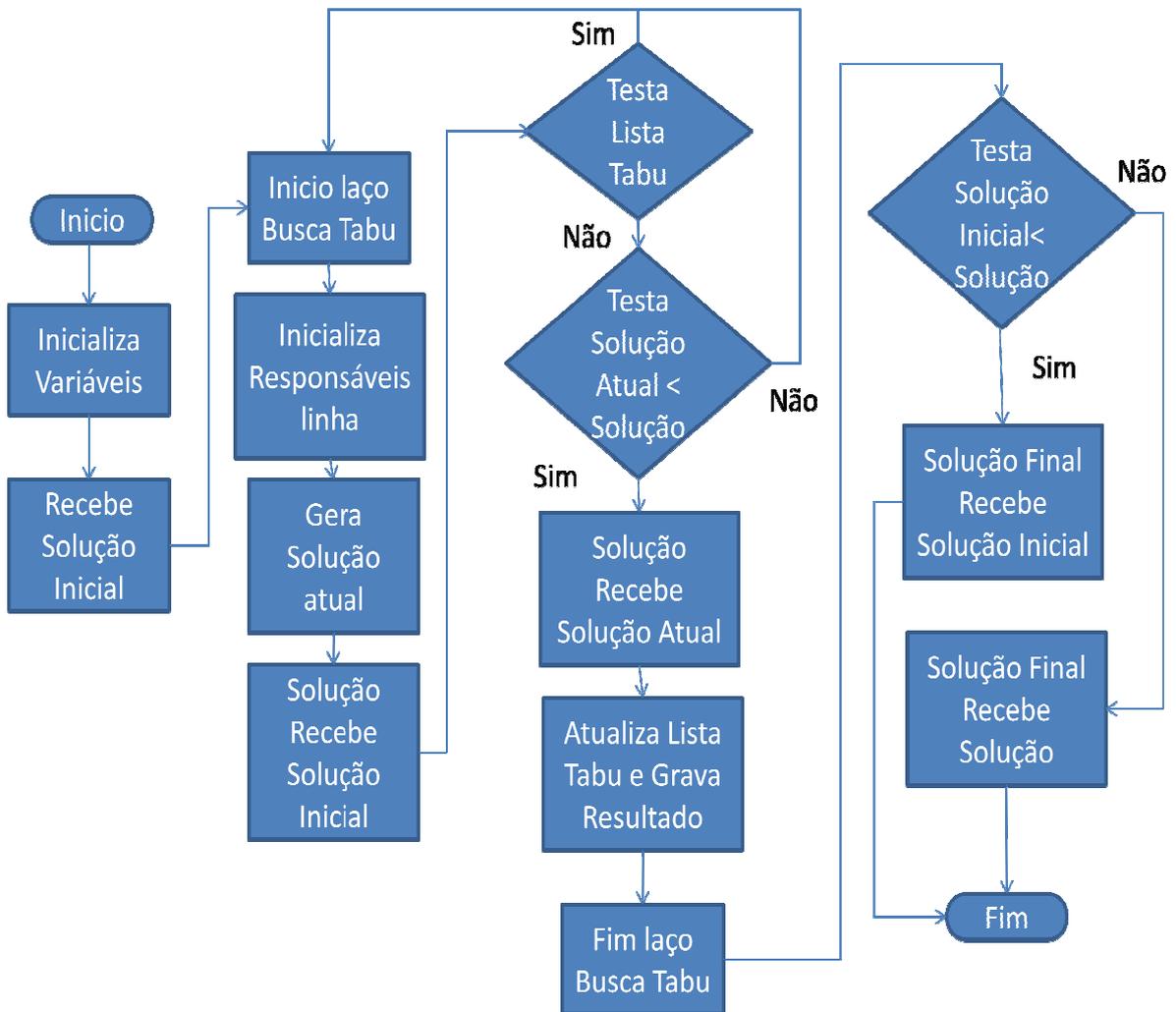


Figura 4. Fluxograma da Busca Tabu implementada
 Fonte: Autoria própria, 2011.

4.4 Modelo proposto por Giordano (2008)

O modelo utilizado por Giordano (2008) para resolver esse mesmo problema de *timetabling* é um modelo híbrido onde ele utiliza a técnica de Metaheurística GRASP e Sistema de Multiagentes.

O modelo utilizado por Giordano contém quatro módulos principais:

Blackboard: é onde as informações são armazenadas, manipuladas e gravadas.

Controlador: manipula as informações e contém as regras de acesso as informações.

Agente Ônibus: é responsável ônibus dentro do contexto e através do controlador irá interagir com as informações contidas Blackboard.

Agente Grasp: é responsável por gerar uma solução inicial que servirá de parâmetro para o agente ônibus e também se houver necessidade irá criar novos agentes ônibus dentro das necessidades das linhas de ônibus.

A figura 5 representa o modelo utilizado por Giordano (2008), com a relação entre os módulos.

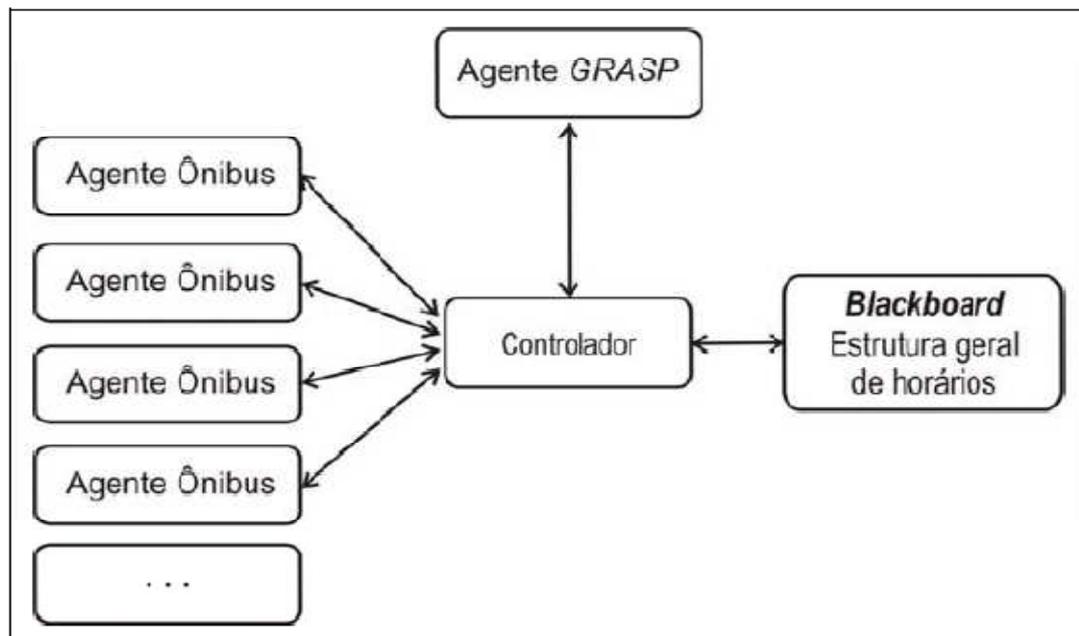


Figura 5 - Arquitetura do SMA
Fonte: Giordano, 2008.

4.5 Considerações Finais

Neste capítulo o modelo proposto de Busca Tabu foi apresentado, também como os dados foram lidos e organizados em uma tabela. O modelo confrontado apresentado no final deste capítulo.

O capítulo 5 apresentará como os resultados foram analisados, quais os resultados são válidos e a comparação de desempenho entre o modelo de Busca Tabu e SMA.

5 RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados obtidos nos testes realizados na comparação entre duas técnicas de Inteligência Artificial (IA). A técnica de Metaheurística proposta neste trabalho é a Busca Tabu que será comparada com proposta desenvolvida por Giordano (2008), que utiliza Sistema de Multiagentes em conjunto com GRASP. Serão utilizados os mesmos dados usados por Giordano (2008), com a mesma formatação. Os dados foram obtidos por Giordano (2008) junto a AGERGS, através de Nota técnica 03/2007. Os dados e a formatação dos mesmos não serão alterados para que a avaliação não seja comprometida por diferença de parâmetros durante o processamento.

Para resolver esse problema de frota mínima sem causar prejuízo para as empresas e a sociedade é importante que a avaliação dos resultados seja criteriosa e respeite todas as restrições pré-estabelecidas. A avaliação tem como propósito analisar qual das duas propostas trará um resultado mais satisfatório em relação ao desempenho. Para a proposta de Giordano (2008) somente será avaliado o desempenho, pois em trabalho anterior já foi validado os resultados obtidos como satisfatório atendendo às necessidades já citadas acima.

Serão avaliados de forma quantitativa e qualitativa os resultados obtidos da proposta deste trabalho, que é o uso da técnica de Metaheurística Busca Tabu.

Para avaliação quantitativa foi observado o desempenho. Será caracterizado como melhor desempenho com relação ao tempo necessário para a solução ser apresentada. A forma qualitativa que será avaliada a proposta será pela quantidade de ônibus apresentada como solução, se essa quantidade atender todas as restrições e for suficiente para atender todas as linhas de ônibus da empresa em questão.

Não será avaliado como deve ser aplicada as restrições e nem suas características, pois já foram avaliadas com sucesso por Giordano (2008). As restrições serão as mesmas utilizadas no trabalho anterior no qual essa proposta atual deseja fazer contraponto. Essa decisão visa não prejudicar a avaliação qualitativa preservando as características do problema.

Para realizar a Busca Tabu foi estabelecido um número inicial de mil (1000) iterações chegando a cem (100) iterações. Os resultados obtidos com mil iterações

não mostraram alteração em relação aos resultados obtidos com cem iterações. Os testes realizados utilizando Busca Tabu procederam da seguinte forma:

- ônibus aleatórios e Horários aleatórios;
- ônibus seqüenciais e Horários aleatórios;
- ônibus aleatórios e Horários seqüenciais;
- ônibus e Horários seqüenciais.

Os testes realizados tiveram como base de dados os horários das linhas de ônibus das empresas Bento, Ditrento e Ozelame. Foram selecionados cinco (5) testes para serem analisados de cada método citado acima, totalizando vinte (20) testes por empresa.

Os dados usados como parâmetros para este trabalho estão contidos na figura 6.

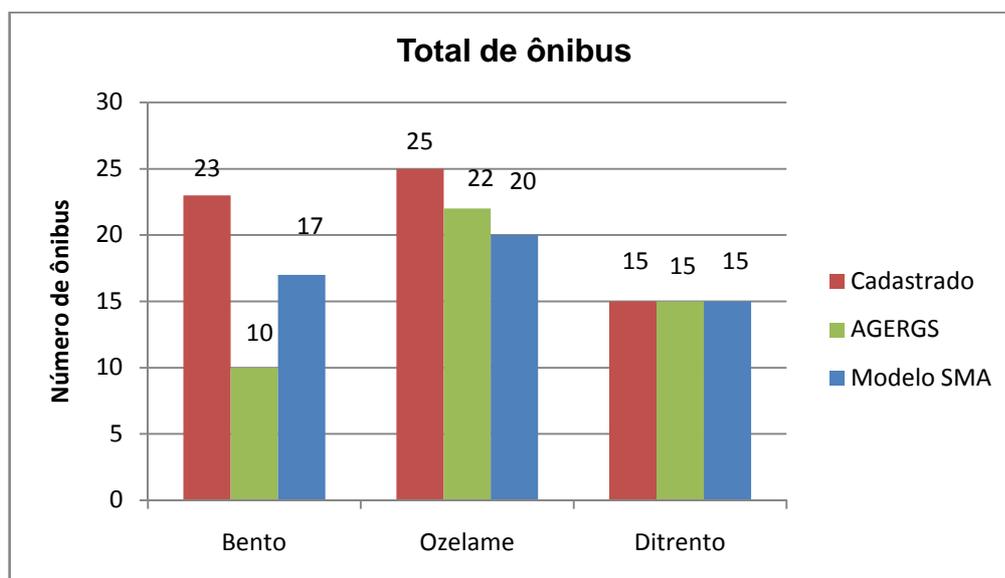


Figura 6 - Total de ônibus Cadastrado, AGERGS e Modelo SMA

Fonte: Autoria própria (2011) e painel de dados de Giordano (2008).

A quantidade de horários de cada empresa é um número expressivo. A empresa Bento possui 72 horários somando os horários de suas linhas, a empresa Ditrento possui 89 horários e a empresa Ozelame possui 108 horários. Portanto, serão apresentados os demais testes com variações no modo de seleção dos ônibus e de acesso aos horários e os testes realizados com o modelo usando Sistema de Multiagentes (SMA) para uma melhor avaliação. Não será somente avaliado se os modelos atendem aos requisitos citados, mas também o desempenho de cada modelo. A figura 6 apresenta a quantidade de ônibus cadastrada pelas empresas,

número de ônibus regulamentado pela AGERGS e total de ônibus encontrado pelo modelo SMA.

5.1 Ônibus aleatórios e Horários aleatórios

Para realização deste teste os ônibus gerados foram selecionados de forma aleatória. Para analisarmos o comportamento dos ônibus quando não há uma seqüência estabelecida de acesso as restrições. O número de ônibus gerados deve ser maior que o número de horários disponíveis, pois todos os horários livres devem ser preenchidos, tendo esse controle há uma garantia que todos os horários terão ônibus disponíveis. O objetivo é ter o menor número de ônibus por empresa, então visando esse objetivo acontecerá que nem todos os ônibus gerados serão utilizados.

Os horários são organizados na tabela de horários por linha, e cada linha a partir do seu primeiro horário. Para as restrições terem acesso aos horários neste caso, é de forma aleatória não obedecendo à ordem na qual a tabela horária foi gerada. Será apresentado nos gráficos a seguir o comportamento deste teste com ônibus selecionados aleatoriamente e acesso aos horários aleatoriamente. Estes gráficos apresentam os resultados encontrados nas linhas de ônibus das empresas Bento, Ozelame e Ditrento.

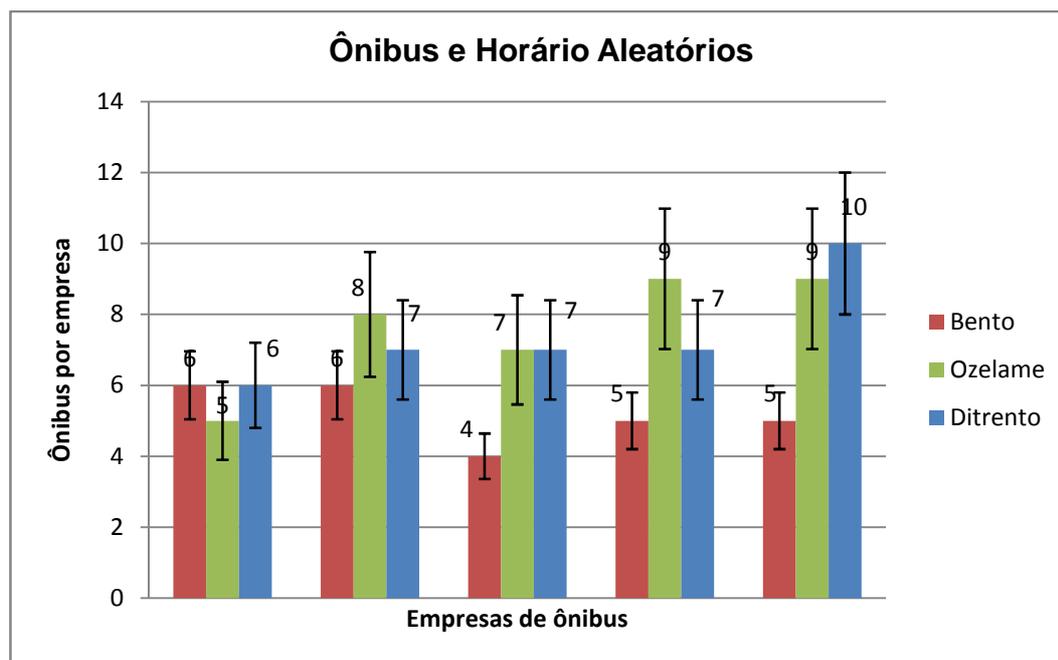


Figura 7 - Ônibus e Horários Aleatórios das empresas Bento, Ozelame e Ditrento
Fonte: Autoria própria, 2011.

Os resultados apresentados na figura 7 demonstram um resultado semelhante, no qual apresentam uma quantidade de ônibus que não é satisfatória para atender às necessidades das linhas das empresas testadas. E a eficiência deste número de ônibus para atender as linhas testadas pode ser questionada, então não deve ser validado este resultado.

Analisando os dados dos gráficos acima constatamos que o melhor resultado apresentado da Busca Tabu não atende às necessidades das empresas, pois na figura 6 a quantidade de ônibus que o modelo SMA apresenta é superior a quantidade encontrada na Busca Tabu. Nessa etapa não será levado em conta os dados cadastrados na AGERGS e os valores sugeridos pela AGERGS apresentados na figura 6.

Os dados encontrados pela Busca Tabu na figura 7 mostram também o desvio padrão através das marcas \perp . A empresa Bento apresentou neste cenário um desvio padrão de 16%, a empresa Ozelame 22% e a empresa Ditrento 20%.

O desvio padrão está muito elevado neste cenário, isto ocorre devido ao acesso aleatório da tabela de horários que desorganiza o controle das restrições.

Os valores encontrados na Busca Tabu, usando o método citado acima, são muito abaixo do mínimo sugerido pelo modelo SMA que é a questão de comparação

para a Busca Tabu. Os dados de desempenho não serão comparados neste caso, pois as soluções encontradas não são viáveis e serão descartadas para uso futuro.

5.2 Ônibus seqüenciais e Horários aleatórios

Neste teste a ordem que os ônibus serão utilizados é seqüencial e o acesso à tabela de horários é de forma aleatória. Os gráficos abaixo representam o resultado utilizando método Ônibus seqüenciais e Horários aleatórios. Neste caso serão usados como parâmetros os dados da figura 6 apresentada no item anterior.

Os resultados obtidos nos testes usando esse método também não obtiveram sucesso, pois apresentaram um número insuficiente de ônibus como no método anterior. Os dois métodos tinham em comum o acesso aleatório a tabela de horários. Portanto esse tipo de acesso à tabela de horários não se torna útil para esse trabalho e, como no método anterior, serão descartados os resultados obtidos, as quantidade de ônibus necessária para atender as linhas. E o desempenho demonstrado neste método também é descartado. Neste cenário ocorre o mesmo problema do método anterior onde alguns dados encontrados ficam com desvio padrão elevados e outros no limite desejável, como mostra a figura 8 abaixo. Os valores de desvio padrão da empresa Bento são de 15%, a empresa Ozelame são de 9% e a empresa Ditrento são de 10%.

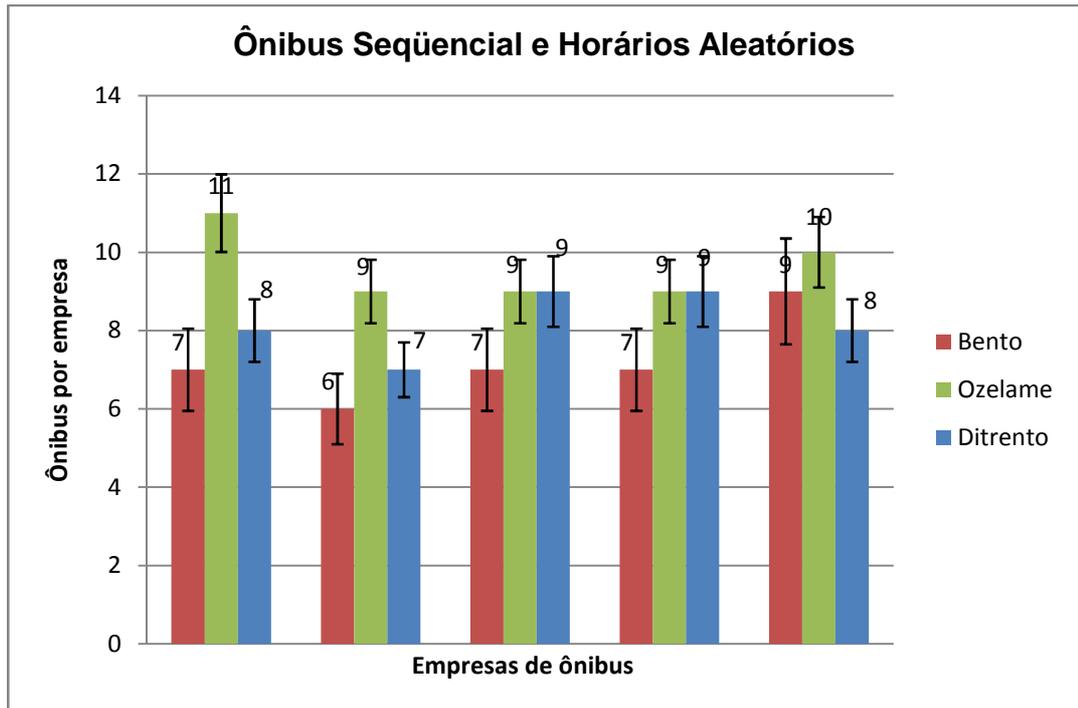


Figura 8 - Ônibus seqüenciais e Horários aleatórios das empresas Bento, Ozelame e Ditrento

Fonte: Autoria própria, 2011.

5.3 Ônibus e Horários Seqüenciais

Nestes testes realizados será utilizado o método que os ônibus são selecionados de forma seqüencial e o acesso à tabela de horários também é de forma seqüencial. Os resultados que foram obtidos utilizando esse método serão apresentados na figura 9 e os dados serão comparados aos dados da figura 6 onde constam os valores de cadastro da AGERGS e os valores sugeridos pela AGERGS, sobre as quantidades de ônibus por empresa.

Também serão utilizados os dados apresentados pelo modelo SMA. Para essa análise somente serão usados os dados do modelo SMA onde os valores encontrados para a empresa Bento são um total de 17 ônibus, a empresa Ozelame são um total de 20 ônibus e para empresa Ditrento são um total de 15 ônibus.

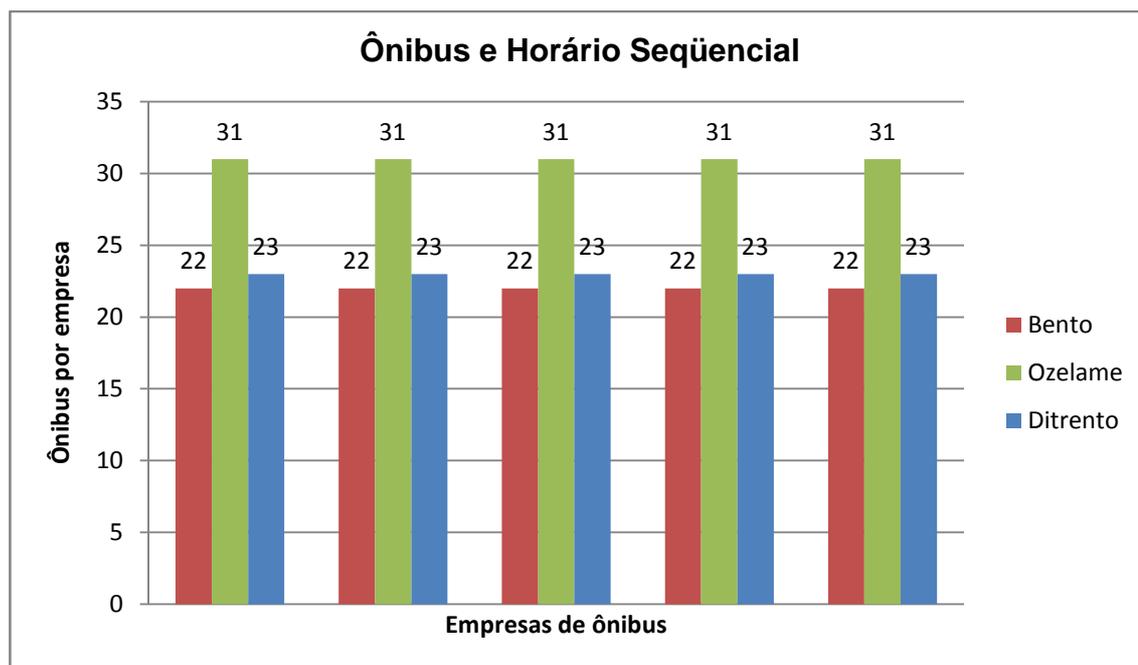


Figura 9 - Ônibus e Horários seqüenciais das empresas Bento, Ozelame e Ditrento
Fonte: Autoria própria, 2011.

Uma característica apresentada neste método foi que não houve variação no resultado, portanto a Busca Tabu não se faz necessário quando esse método for utilizado. Os resultados obtidos em cada empresa foram os mesmos em todas as iterações.

Os valores encontrados com a Busca Tabu usando o método ônibus e Horários seqüenciais apresentaram valores não compatíveis, pois ao contrário dos casos anteriores os valores são altos e ultrapassou o limite de frota mínima. O único valor que se aproximou de um dos valores de cadastro da AGEGRS foi o da empresa Bento, mas os valores que estão sendo usados como parâmetros são os valores do modelo SMA e neste caso esse valor foi ultrapassado e 22 ônibus é um número elevado para os resultados em questão.

Portanto, os resultados obtidos com esse método serão descartados para análise futura tanto de quantidade quanto de desempenho.

Será testado ainda um último método que será apresentado no item a seguir.

5.4 Ônibus aleatório e Horário seqüencial

Os ônibus serão selecionados de forma aleatória e o acesso à tabela de horários é de forma seqüencial. Os resultados obtidos serão apresentados na figura 10 e os mesmos serão comparados aos dados da figura 6 citada anteriormente. Para essa análise somente serão usados os dados do modelo SMA onde os valores encontrados para a empresa Bento são um total de 22 ônibus, a empresa Ozelame são um total de 31 ônibus e para empresa Ditrento são um total de 23 ônibus.

Os resultados obtidos neste caso não são satisfatórios com nos casos anteriores. Os valores encontrados não estão próximos aos valores encontrados pelo modelo SMA. Para análise serão considerados os valores mais semelhantes ou iguais aos valores do modelo SMA.

A análise de desempenho neste caso será considerada para avaliação, pois há a necessidade da análise do desempenho para verificação do tempo de processamento dos dois modelos comparados, o modelo de Busca Tabu e o SMA. Os dados que serão utilizados das empresas são: Bento, 22 ônibus, Ditrento, 23 ônibus e a empresa Ozelame, 31 ônibus. Os tempos de processamento que serão avaliados serão dos dados citados acima.

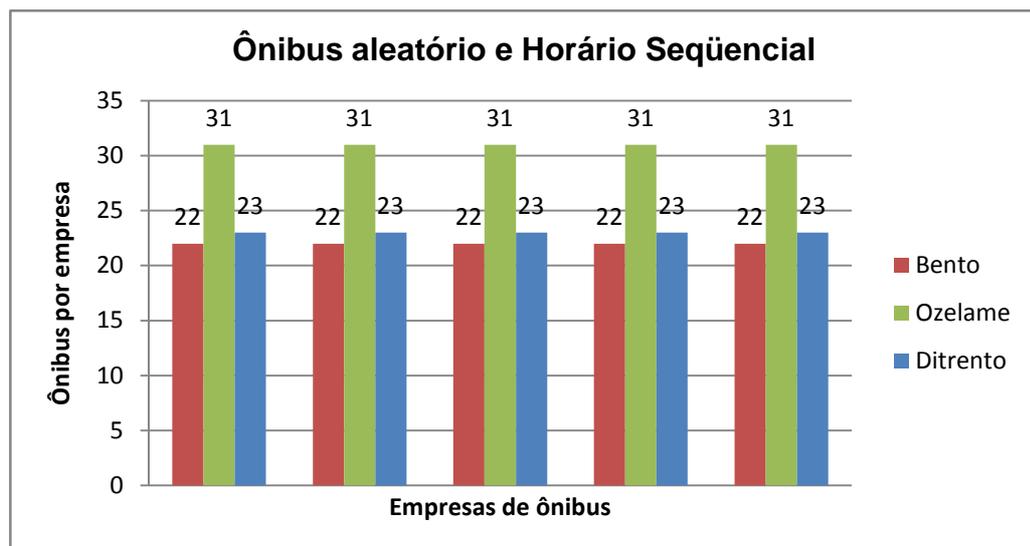


Figura 10 - Ônibus aleatórios e Horários seqüenciais das empresas Bento, Ozelame e Ditrento

Fonte: Autoria própria, 2011.

Tabela 2 Resultados sobre frota efetiva

	Cadastro	AGERGS	SMA	Busca Tabu
Empresa	Frota efetiva e reserva			
Bento	23	10	17	22
Ditrento	15	15	15	23
Ozelame	25	22	20	31

Fonte: Giordano (2008) e Aatoria própria (2011).

Os tempos de processamento de cada modelo serão apresentados nas tabelas abaixo. O tempo de processamento será apresentado em milissegundos, pois o JAMON que realiza o monitoramento dos processos utiliza essa unidade de tempo como padrão.

Tabela 3. Tempos de processamento do modelo SMA

Tempo de processamento em milissegundos				
	Controlador	Agentes	Grasp	Total
Bento	16415	312	481235	497962
Ozelame	27214	697	726597	754508
Ditrento	11498	547	501258	513303

Fonte: Aatoria própria, 2011.

Tabela 4 Tempos de processamento da Busca Tabu.

Tempo de processamento em milissegundos	
Busca Tabu	
Bento	27168
Ozelame	50145
Ditrento	39697

Fonte: Aatoria própria, 2011.

Os dados da figura 11 mostram que a Busca Tabu tem um tempo de processamento inferior ao tempo de processamento do SMA. Isso acontece devido a Busca Tabu realizar um processamento estruturado e seqüencial enquanto o Sistema Multiagentes utiliza *Threads* para realizar o processamento deixando-o mais lento devido à concorrência entre os processos leves (*threads*) para encontrar o

resultado. Para melhor sincronização das *Threads* em um determinado momento, as *Threads* tem um tempo de espera evitando conflitos entre as mesmas. Portanto, utilizando a Busca Tabu o desempenho é melhor, mas a solução encontrada não satisfaz as necessidades das linhas de ônibus estudadas. A solução encontrada pela Busca Tabu neste método ultrapassa o mínimo de ônibus encontrado pelo Sistema Multiagentes.

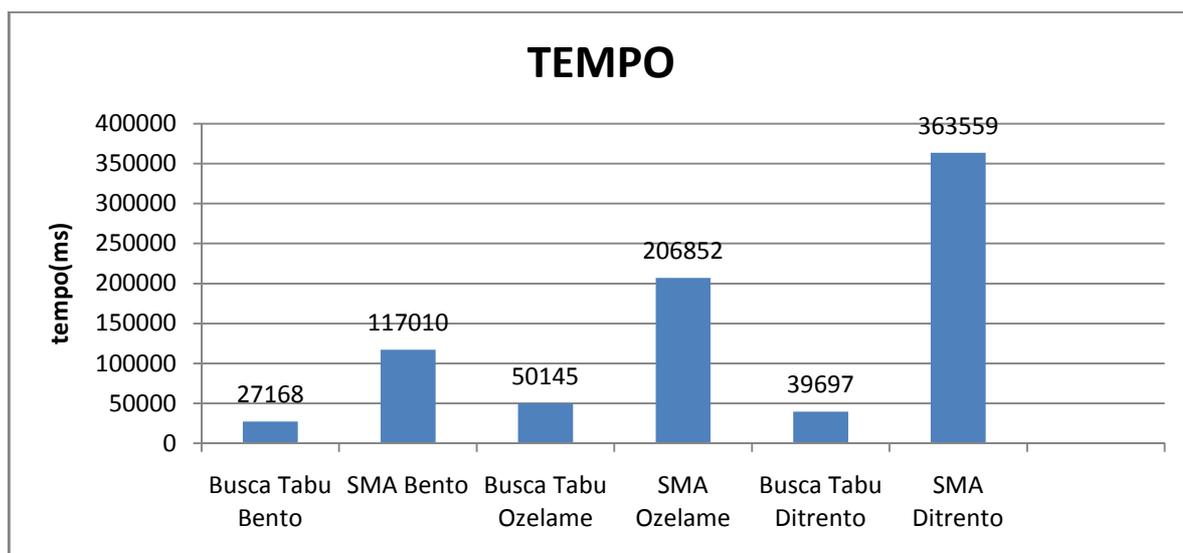


Figura 11 - Tempos de processamento dos modelos SMA e Busca Tabu.
Fonte: Autoria própria, 2011

5.5 Considerações Finais

Neste capítulo os resultados foram apresentados mostrando como os quatro métodos que utilizam a Busca Tabu agiram. Os dados encontrados dos dois modelos a Busca Tabu e o SMA foram comparados. Os resultados mostram melhor desempenho da Busca Tabu, porém os dados encontrados não são válidos. Deste modo o modelo SMA obtém melhor resultado, pois seus dados são válidos. Nos apêndices D, E, F constam uma parte dos resultados encontrados de cada empresa que foi testada. No apêndice G contém um exemplo de como o JAMON apresenta o resultado do monitoramento de tempo dos processos.

Após serem apresentados os resultados, no capítulo seguinte é apresentada a conclusão deste trabalho.

6 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo o uso de uma técnica de Metaheurística chamada Busca Tabu para solucionar um problema de agendamento de horários em uma tabela horária e comparar com o Sistema de Multiagentes (SMA) usado por Giordano (2008) qual tem melhor desempenho.

Estes horários são referentes às tabelas das empresas de ônibus que deve definir qual seria a frota mínima necessária para atender esses horários.

A AGERGS tem como atribuição regulamentar essa frota mínima através da avaliação de seus técnicos. Este problema de agendamento de horários é um *Timetabling Problems* e tem complexidade NP-Hard. Para solucionar esse problema com Busca Tabu foi usado quatro métodos diferentes. Esses métodos são: ônibus aleatório e horários aleatórios, ônibus seqüencial e horários aleatórios, ônibus e horários seqüenciais e ônibus aleatórios e horários seqüencial.

Todos os métodos mostraram serem ineficientes na resolução do problema onde os dois primeiros não atingiram um número suficiente de ônibus para atender a demanda solicitada e teve um desvio padrão elevado. Em um dos casos o desvio padrão foi na empresa Bento de 16%, e na empresa Ozelame o desvio padrão foi 22% e na empresa Ditrento foi 20%.

Os dois últimos ultrapassaram o número de ônibus necessário para atender as empresas. Esses métodos foram comparados com o SMA para qualificar o resultado.

O último método utilizado foi ônibus aleatório e horário seqüencial foi usado para realizar a análise de desempenho em relação ao modelo que Sistema de Multiagentes. Os valores encontrados por esse método foram comparados com SMA, e esses valores são melhores em relação ao desempenho e podem ser aceitáveis. O desempenho da Busca Tabu é consideravelmente superior ao SMA, os dois modelos foram testados no mesmo ambiente e foi usada a mesma técnica para medir o tempo, para monitorar foi usado o JAMON.

A Busca Tabu não atendeu as necessidades mesmo tendo um desempenho superior, pois neste problema a qualidade do resultado é mais importante que o desempenho do método utilizado. A qualidade do resultado tem um impacto financeiro que deve ser considerado, pois um ônibus a mais em uma empresa gera

um custo que implica em vários fatores como, por exemplo, o valor da passagem a ser cobrada.

Porém o uso dessas técnicas não substitui a avaliação dos técnicos da AGERGS, elas podem auxiliar na solução do problema proporcionando uma solução prévia que deve ser avaliada. Dessa forma pode-se melhorar a qualidade da solução. Portanto, o uso da Busca Tabu para solucionar esse problema em específico não é válido para encontrar uma solução aceitável respeitando as limitações citadas neste trabalho.

Os trabalhos futuros podem buscar o uso de um banco de dados contendo as tabelas horárias com as soluções válidas e podem servir de parâmetro para novas buscas. As restrições podem ser trabalhadas como métodos individuais para o uso da modularização. Uma interface gráfica pode ser usada para gerar a solução inicial assim será utilizado o conhecimento e a experiência dos técnicos.

REFERÊNCIAS

Agência Estadual de Regulação dos Serviços Públicos Delegados do Rio Grande do Sul. Disponível: <www.agergs.rs.gov.br>. Acesso em 15 jan. 2011.

BOUGHACI, Dalila, Habiba Drias. 2004. Solving weighted Max-Sat optimization problems using a Taboo Scatter Search metaheuristic. In ACM symposium on Applied computing, 2004, New York. **Proceedings...** New York: ACM, 2004, p. 35-36.

BLUM, Christian, Andrea Roli. 2003. Metaheuristics in combinatorial optimization: Overview and conceptual comparison. **Ensaio**: ACM Computing Surveys, New York V. 35, N. 3, p. 268-308, Set. 2003.

DALL'ORTO, Leonardo Campo. et tal. Metaheurística *Tabu Search* aplicada ao problema de projeto de redes de transporte. **Ensaio**: Revista Transporte, capa, v.9 , n. 1. Maio 2001.

FRAGA NETO, Dimitrius. **Algoritmos de estimação de distribuição aplicados ao problema do roteamento de veículos**. 2008. 39f. Trabalho de Conclusão de Curso (Ciência da Computação) - Universidade Federal da Bahia - Instituto de Matemática - Departamento de Ciência da Computação , Salvador , 2008.

GLOVER, FRED. Future paths for integer programming and links to artificial intelligence. **Computers and Operations Research** v.1, p.533-549, 1986.

GLOVER, FRED. Tabu Search – parte 1. **ORSA Journal on Computing** v.1, n.3, 1989.

GLOVER, FRED. Tabu Search – parte 2. **ORSA Journal on Computing** v.2, n.1, 1990.

GLOVER, Fred; LAGUNA, Manuel. Tabu Search. **Kluwer Academic Publishers**, 1997.

GOPAKUMAR, Aloor, Lillykutty Jacob. Performance of some metaheuristic algorithms for localization in wireless sensor networks. **International Journal. Network of Management**, p. 355-373, Set. 2009. Disponível: <www.interscience.wiley.com>. Acesso em: 09 Fev 2011.

GIORDANO, Gilberto. **Solução Híbrida de *Timetabling* aplicada ao escalonamento de veículos de transporte público**. 2008. 66 f. Trabalho de Conclusão do Curso de Ciência da Computação, Centro Universitário La Salle, Canoas, 2008.

GOMES JÚNIOR, Aloísio de Castro et tal. *Simulated annealing* aplicado a resolução do problema de roteamento de veículos com janela de tempo. Departamento de Computação. Universidade Federal de Ouro Preto. **Revista Transportes** v.8, n.2, p5-20, Dez. 2005.

JAMON, Java API Monitor.

Disponível : < <http://www.jamonapi.com/> > .Acesso em 10 Jun. 2011.

LEAL, Liara Aparecida dos santos. **Fundamentação teórica para a complexidade estrutural de problemas de Otimização**. Tese (Doutorado em computação), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

LEITE, Marcio. et. tal. Algoritmo busca tabu para a minimização do tempo de processamento e atrasos de entrega em sistemas de produção *Flowshop* permutacional.in: **XXVI ENEGEP ABEPRO**, Fortaleza, 09 out. 2006.

LOBO, M. **Uma Solução do problema de horário escolar via algoritmo genético Paralelo**. 2005.95 f. Dissertação (Mestrado em computação), Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

MAPA, Silvia Maria Santana. **Redução de custos da programação diária de tripulações de ônibus urbano via Metaheurísticas**. 2004. 72 f. Dissertação (Mestrado em computação) Universidade Federal de Ouro, Preto Ouro Preto, 2004.

MEIGNAM, David, Jean-Charles, and Abderrafiaa Koukam. A cooperative and self-adaptive metaheuristic for the facility location problem. In of the 11th Annual conference on Genetic and evolutionary computation, 2009, New York. **Proceedings**.... New York: ACM, 2009. p 317-324.

MEJTSKY, George Jiri. A metaheuristic algorithm for simultaneous simulation optimization and applications to traveling salesman and job shop scheduling with due dates. In of the 39th conference on winter simulation: 40 years! The best is yet to come 2007, Piscataway. **Proceedings**....IEEE Press, Piscataway, 2007.p1835-1843.

MOURA, Arnaldo. et tal. Técnicas Metaheurística aplicadas à construção de grades horárias escolares. Instituto de Computação Campinas. In **XXXVI SBPO.**, São João Del Rei, 2004.

ROCHA, Anderson de Rezende. et tal. **Resolvendo o clássico problema dos robôs mineradores com a heurística - Tabu Search.** 2003.8 f. Artigo escrito para a disciplina de Inteligência Artificial. Departamento de Ciência da Computação. Universidade Federal de Lavras. Minas Gerais, 2003.

SIMAS, Etiene Pozzobom Lazzeris. **Utilizando a Busca Tabu na resolução do Problema de Roteamento de Veículos.** 2007. 155 f. Dissertação (Mestre em computação) Programa de Pós Graduação em Computação Aplicada - PIPCA. Universidade do Vale dos Sinos. São Leopoldo, 2007.

SILVA, Edna Lúcia Da. MENEZES, Estera Muszkat. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação.** 3.ed rev. atual. 2001. 121 f. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2001.

SANTOS, Haroldo G., Luiz S. Ochi, Marcone J. F. Souza. A Tabu Search Heuristic with Efficient Diversification Strategies for the Class/Teacher Timetabling Problem. Universidade Federal Fluminense and Universidade Federal de Ouro Preto. **Ensaio:** ACM Journal of Experimental Algorithmics, v 10, n. 2.9, 2005, p 1–16.

SOUZA, Marcone Jamilson Freitas. **Inteligência Computacional para Otimização.** Departamento de Computação, Instituto de Ciências Exatas e Biológicas. Universidade Federal de Ouro Preto, 2009.
Disponível em: < <http://www.iceb.ufop.br/decom/prof/marcone>>.
Acesso em: 15 jan. 2011.

SOUZA, Marcone Jamilson Freitas. **Inteligência Computacional para Otimização.** Artigo - Departamento de Computação, Instituto de Ciências Exatas e Biológicas. Universidade Federal de Ouro Preto, 2009.
Disponível em:
<<http://www.iceb.ufop.br/decom/prof/marcone/Disciplinas/InteligenciaComputacional/BuscaTabu.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2011.

SCHAERF, A. A Survey of Automated Timetabling. **Ensaio:** Journal Artificial Intelligence Review, v.13, n.2, Abr. 1999, p 87 – 127.

APÊNDICE A -Tabela de horários da empresa Bento Gonçalves

Linha:C430-Farr-
 C.Barbosa-IDA;
 Duracao:60;
 Origem:CBarbosa;
 Destino:Farroupilha;
 06:05;
 08:00;
 11:10;
 11:25;
 16:50;
 18:20;
 Linha:C430-Farr-
 C.Barbosa-VOLTA;
 Duracao:60;
 Origem:Farroupilha;
 Destino:CBarbosa;
 07:00;
 10:30;
 11:45;
 16:00;
 17:40;
 18:45;
 Linha:C601-Bento-
 Sertorina- IDA;
 Duracao:30;
 Origem:Felix;
 Destino:RST-453;
 15:40;
 Linha:C601-Bento-
 Sertorina-VOLTA;
 Duracao:30;
 Origem:RST-453;
 Destino:Felix;
 16:00;
 Linha:C601A-Bento-
 Sertorina- IDA;
 Duracao:30;
 Origem:RuaA;
 Destino:RST-453;
 05:50;
 Linha:C601A-Bento-
 Sertorina-VOLTA;
 Duracao:30;
 Origem:RST-453;
 Destino:RuaA;
 06:55;
 Linha:C601B-Bento-
 Sertorina- IDA;

Duracao:30;
 Origem:SaoRoque;
 Destino:RST-453;
 06:30;
 Linha:C601B-Bento-
 Sertorina-VOLTA;
 Duracao:30;
 Origem:RST-453;
 Destino:SaoRoque;
 06:50;
 Linha:C601C-Bento-
 Sertorina- IDA;
 Duracao:30;
 Origem:SaoRoque;
 Destino:RST-453;
 11:45;
 Linha:C601C-Bento-
 Sertorina-VOLTA;
 Duracao:30;
 Origem:RST-453;
 Destino:SaoRoque;
 12:55;
 Linha:C608-Bento-
 Tamandaré- IDA;
 Duracao:30;
 Origem:RST-453;
 Destino:SaoRoque;
 17:15;
 Linha:C608-Bento-
 Tamandaré-VOLTA;
 Duracao:30;
 Origem:SaoRoque;
 Destino:RST-453;
 05:45;
 Linha:C608A-
 Tamandaré-Bento IDA;
 Duracao:30;
 Origem:TREVORST47
 0;
 Destino:LOTZATT;
 17:10;
 Linha:C608A-
 Tamandaré-Bento-
 VOLTA;
 Duracao:30;
 Origem:LOTZATT;
 Destino:TREVORST47
 0;

05:55;
 Linha:C608B-
 Tamandaré-Bento IDA;
 Duracao:30;
 Origem:RST-453;
 Destino:Felix;
 07:05;
 12:10;
 12:25;
 16:00;
 Linha:C608B-
 Tamandaré-Bento-
 VOLTA;
 Duracao:30;
 Origem:Felix;
 Destino:RST-453;
 11:20;
 11:45;
 Linha:C608C-
 Tamandaré-Bento IDA;
 Duracao:30;
 Origem:RST-453;
 Destino:Felix;
 15:00;
 Linha:C608C-
 Tamandaré-Bento-
 VOLTA;
 Duracao:30;
 Origem:LOTZATT;
 Destino:Felix;
 13:00;
 18:05;
 Linha:C608D-
 Tamandaré-Bento IDA;
 Duracao:30;
 Origem:RST-453;
 Destino:Felix;
 17:50;
 Linha:C608D-
 Tamandaré-Bento-
 VOLTA;
 Duracao:30;
 Origem:Felix;
 Destino:RST-453;
 15:40;
 Linha:C608E-
 Tamandaré-Bento IDA;
 Duracao:30;

Origem:RST-453;
 Destino:Felix;
 13:20;
 Linha:C608E-
 Tamandaré-Bento-
 VOLTA;
 Duracao:30;
 Origem:Felix;
 Destino:RST-453;
 16:45;
 Linha:C608F-
 Tamandaré-Bento IDA;
 Duracao:30;
 Origem:JOSEGAVA;
 Destino:SaoRoque;
 06:15;
 Linha:C608F-
 Tamandaré-Bento-
 VOLTA;
 Duracao:30;
 Origem:SaoRoque;
 Destino:RST-453;
 11:45;
 Linha:C609-Bento-
 StBarbara- IDA;
 Duracao:60;
 Origem:Felix;
 Destino:STBarbara;
 15:00;
 Linha:C609-Bento-
 StBarbara-VOLTA;
 Duracao:60;
 Origem:STBarbara;
 Destino:Felix;
 13:00;
 18:05;
 Linha:C630-Bento-
 CBarbosa- IDA;
 Duracao:60;
 Origem:SaoRoque;
 Destino:CBarbosa;
 12:00;

Linha:C630-Bento-
 CBarbosa-VOLTA;
 Duracao:60;
 Origem:CBarbosa;
 Destino:SaoRoque;
 06:25;
 Linha:C630A-Bento-
 CBarbosa- IDA;
 Duracao:60;
 Origem:CBarbosa;
 Destino:Bento;
 12:15;
 17:30;
 Linha:C630A-Bento-
 CBarbosa-VOLTA;
 Duracao:60;
 Origem:Bento;
 Destino:CBarbosa;
 08:00;
 15:45;
 18:30;
 Linha:C631-Bento-
 CBarbosa- IDA;
 Duracao:55;
 Origem:CBarbosa;
 Destino:Bento;
 07:10;
 11:25;
 14:00;
 Linha:C631-Bento-
 CBarbosa-VOLTA;
 Duracao:55;
 Origem:Bento;
 Destino:CBarbosa;
 08:15;
 10:45;
 13:45;
 16:15;
 19:20;
 Linha:C650-Bento-
 Garibaldi- IDA;
 Duracao:40;

Origem:Garibaldi;
 Destino:SaoRoque;
 06:30;
 18:00;
 Linha:C650-Bento-
 Garibaldi-VOLTA;
 Duracao:40;
 Origem:SaoRoque;
 Destino:Garibaldi;
 17:40;
 19:15;
 Linha:C650A-Bento-
 Garibaldi- IDA;
 Duracao:40;
 Origem:Garibaldi;
 Destino:SaoRoque;
 10:30;
 14:30;
 16:45;
 18:20;
 Linha:C650A-Bento-
 Garibaldi-VOLTA;
 Duracao:40;
 Origem:SaoRoque;
 Destino:Garibaldi;
 09:00;
 13:30;
 15:35;
 Linha:C650A-Bento-
 Garibaldi- IDA;
 Duracao:40;
 Origem:Garibaldi;
 Destino:Bento;
 17:20;
 Linha:C650A-Bento-
 Garibaldi-VOLTA;
 Duracao:40;
 Origem:SaoRoque;
 Destino:Bento;
 09:00;
 13:30;
 15:35;

APÊNDICE B – Tabela de horários da empresa Ditreto

Linha:C112-Caxias- NPadua-IDA; Duracao:105; Origem:NPadua; Destino:Caxias; 07:00; 12:30;	07:20; 07:55; 08:45; 09:25; 10:00; 11:25; 12:15; 13:00; 13:25; 14:00; 14:55; 15:20; 16:00; 16:40;	Linha:C176-Caxias- FCunha-IDA; Duracao:77; Origem:FCunha; Destino:Caxias; 06:30; 12:40;
Linha:C112-Caxias- NPadua-VOLTA; Duracao:105; Origem:Caxias; Destino:NPadua; 11:10; 17:00;	17:25; 17:55; 19:00; 19:30; 20:25; 22:10;	Linha:C176-Caxias- FCunha-VOLTA; Duracao:77; Origem:Caxias; Destino:FCunha; 12:00; 18:15;
Linha:C170-Caxias- FCunha-IDA; Duracao:55; Origem:FCunha; Destino:Caxias; 05:50; 06:30; 06:50; 07:10; 07:55; 08:55; 10:00; 10:40; 11:30; 12:15; 13:00; 13:55; 14:30; 14:55; 16:00; 16:45; 17:45; 18:00; 18:45; 19:40; 20:15; 21:00;	Linha:C171-Caxias- FCunha-IDA; Duracao:60; Origem:FCunha; Destino:Caxias; 06:45; 13:30; Linha:C171-Caxias- FCunha-VOLTA; Duracao:60; Origem:Caxias; Destino:FCunha; 10:25; 18:30; Linha:C175-Caxias- FCunha-IDA; Duracao:77; Origem:FCunha; Destino:Caxias; 06:30; 12:40;	Linha:C716-FCunha- NPadua-IDA; Duracao:42; Origem:NPadua; Destino:FCunha; 18:20; Linha:C716-FCunha- NPadua-VOLTA; Duracao:42; Origem:FCunha; Destino:NPadua; 06:35; 16:15; 19:15; Linha:C717-FCunha- NPadua-IDA; Duracao:77; Origem:NPadua; Destino:FCunha; 06:00; 12:00; 13:00; Linha:C717-FCunha- NPadua-VOLTA; Duracao:77; Origem:FCunha; Destino:NPadua; 11:50; 17:40;
Linha:C170-Caxias- FCunha-VOLTA; Duracao:55; Origem:Caxias; Destino:FCunha; 06:30; 07:00;	Linha:C175-Caxias- FCunha-VOLTA; Duracao:77; Origem:Caxias; Destino:FCunha; 11:50; 18:00;	Linha:RT701-FCunha- Caxias-IDA; Duracao:61; Origem:FCunha; Destino:Caxias;

06:40;
12:40;
15:40;
18:25;
18:30;
Linha:RT701-FCunha-
Caxias-VOLTA;
Duracao:61;
Origem:Caxias;
Destino:FCunha;
11:00;
16:45;

19:35;
22:00;
22:35;
Linha:RT702-FCunha-
Caxias-IDA;
Duracao:61;
Origem:FCunha;
Destino:Caxias;
06:40;
12:40;
15:40;
18:25;

18:30;
Linha:RT702-FCunha-
Caxias-VOLTA;
Duracao:61;
Origem:Caxias;
Destino:FCunha;
11:00;
16:45;
19:35;
22:00;
22:35

APÊNDICE C – Tabela de horários da empresa Ozelame

<p> Linha:C121-Cx-Bento-Sert- IDA; Duracao:95; Origem:Bento; Destino:caxias; 07:10; 07:45; 13:30; 15:30; Linha:C121-Cx-Bento-Sert-VOLTA; Duracao:95; Origem:caxias; Destino:Bento; 06:05; 10:30; 13:30; 15:30; 16:20; Linha:C121D-Cx-Bento-Sert-IDA; Duracao:65; Origem:Bento; Destino:caxias; 15:00; Linha:C122-Cx-Bento-Barr- IDA; Duracao:95; Origem:Bento; Destino:caxias; 06:15; 09:00; 12:30; 17:00; 18:00; 19:00; 21:00; Linha:C122-Cx-Bento-Barr-VOLTA; Duracao:95; Origem:Caxias; Destino:Bento; 06:30; 11:30; 17:15; 18:30; 19:30; </p>	<p> Linha:C122D-Cx-Bento-Barr-IDA; Duracao:65; Origem:Bento; Destino:caxias; 06:40; 07:00; 08:00; 12:00; 13:30; 17:00; Linha:C122D-Cx-Bento-Barr-VOLTA; Duracao:65; Origem:Caxias; Destino:Bento; 08:00; 10:00; 12:00; 13:30; 15:00; 16:30; 17:30; 18:00; Linha:C130-Cx-CarlosBarbosa-IDA; Duracao:105; Origem:CBarbosa; Destino:caxias; 06:30; 08:30; 12:15; 14:30; 16:15; 18:00; Linha:C130-Cx-CarlosBarbosa-VOLTA; Duracao:105; Origem:Caxias; Destino:CBarbosa; 06:15; 07:00; 09:30; 11:00; 12:30; 14:15; </p>	<p> 16:45; 17:45; Linha:C130D-Cx-CarlosBarbosa-IDA; Duracao:75; Origem:CBarbosa; Destino:caxias; 06:30; 07:45; 13:15; Linha:C130D-Cx-CarlosBarbosa-VOLTA; Duracao:75; Origem:Caxias; Destino:CBarbosa; 16:30; 18:30; Linha:C140A-Cx-Farroupilha- IDA; Duracao:95; Origem:Caxias; Destino:Farroupilha; 20:00; 21:30; 22:00; 22:30; Linha:C140B-Cx-Farroup-Carav-IDA; Duracao:95; Origem:Farroupilha; Destino:caxias; 16:30; Linha:C140B-Cx-Farroup-Carav-VOLTA; Duracao:95; Origem:Caxias; Destino:Farroupilha; 13:45; Linha:C150-Cx-Garibaldi-Bento-IDA; Duracao:115; Origem:Garibaldi; Destino:caxias; </p>
--	---	--

10:10;	Destino:caxias;	Linha:C140-Cx-
11:05;	06:00;	Farroupilha-VOLTA;
19:40;	06:30;	Duracao:65;
Linha:C150-Cx-	06:45;	Origem:Caxias;
Garibaldi-Bento-	07:00;	Destino:Farroupilha;
VOLTA;	08:00;	07:15;
Duracao:115;	08:50;	08:00;
Origem:Caxias;	09:50;	09:00;
Destino:Garibaldi;	10:50;	10:00;
07:30;	11:50;	11:00;
20:30;	12:30;	12:00;
Linha:C150D-Cx-	12:50;	13:00;
Garibaldi-Bento-	13:50;	14:00;
IDA;	14:50;	14:30;
Duracao:95;	15:50;	15:00;
Origem:Caxias;	16:50;	15:30;
Destino:Garibaldi;	17:20;	16:00;
07:30;	17:50;	16:30;
20:30;	18:05;	17:00;
Linha:C140-Cx-	18:20;	17:30;
Farroupilha-IDA;	18:45;	18:00;
Duracao:65;	19:20;	18:15;
Origem:Farroupilha;	20:50;	19:00;

APÊNDICE D – Exemplo de resultado dos horários da empresa Bento

C430-Farr-C.Barbosa-IDA saída : 06:05 Origem: CBarbosa Responsável: 0;
 C430-Farr-C.Barbosa-IDA saída: 08:00 Origem: CBarbosa Responsável: 0;
 C430-Farr-C.Barbosa-IDA saída: 11:10 Origem: CBarbosa Responsável: 0;
 C430-Farr-C.Barbosa-IDA saída: 11:25 Origem: CBarbosa Responsável: 30;
 C430-Farr-C.Barbosa-IDA saída: 16:50 Origem: CBarbosa Responsável: 0;
 C430-Farr-C.Barbosa-IDA saída: 18:20 Origem: CBarbosa Responsável: 30;
 C430-Farr-C.Barbosa-VOLTA saída: 07:00 Origem: Farroupilha Responsável: 113;
 C430-Farr-C.Barbosa-VOLTA saída: 10:30 Origem: Farroupilha Responsável: 113;
 C430-Farr-C.Barbosa-VOLTA saída: 11:45 Origem: Farroupilha Responsável: 70;
 C430-Farr-C.Barbosa-VOLTA saída: 16:00 Origem: Farroupilha Responsável: 113;
 C430-Farr-C.Barbosa-VOLTA saída: 17:40 Origem: Farroupilha Responsável: 70;
 C430-Farr-C.Barbosa-VOLTA saída: 18:45 Origem: Farroupilha Responsável: 0;
 C601-Bento-Sertorina- IDA saída: 15:40 Origem: Felix Responsável: 77;
 C601-Bento-Sertorina-VOLTA saída: 16:00 Origem: RST-453 Responsável: 104;
 C601A-Bento-Sertorina- IDA saída: 05:50 Origem: RuaA Responsável: 42;
 C601A-Bento-Sertorina-VOLTA saída: 06:55 Origem: RST-453 Responsável: 42;
 C601B-Bento-Sertorina- IDA saída: 06:30 Origem: SaoRoque Responsável: 72;
 C601B-Bento-Sertorina-VOLTA saída: 06:50 Origem: RST-453 Responsável: 78;
 C601C-Bento-Sertorina- IDA saída: 11:45 Origem: SaoRoque Responsável: 42;
 C601C-Bento-Sertorina-VOLTA saída: 12:55 Origem: RST-453 Responsável: 42;
 C608-Bento-Tamandaré- IDA saída: 17:15 Origem: RST-453 Responsável: 77;
 C608-Bento-Tamandaré-VOLTA saída: 05:45 Origem: SaoRoque Responsável: 131;
 C608A-Tamandaré-Bento IDA saída: 17:10 Origem: TREVORST470 Responsável: 42;
 C608A-Tamandaré-Bento-VOLTA saída: 05:55 Origem: LOTZATT Responsável: 123;
 C608B-Tamandaré-Bento IDA saída: 07:05 Origem: RST-453 Responsável: 72;
 C608B-Tamandaré-Bento IDA saída: 12:10 Origem: RST-453 Responsável: 72;
 C608B-Tamandaré-Bento IDA saída: 12:25 Origem: RST-453 Responsável: 78;
 C608B-Tamandaré-Bento IDA saída: 16:00 Origem: RST-453 Responsável: 72;
 C608B-Tamandaré-Bento-VOLTA saída: 11:20 Origem: Felix Responsável: 131;
 C608B-Tamandaré-Bento-VOLTA saída: 11:45 Origem: Felix Responsável: 123;
 C608C-Tamandaré-Bento IDA saída: 15:00 Origem: RST-453 Responsável: 78;
 C608C-Tamandaré-Bento-VOLTA saída: 13:00 Origem: LOTZATT Responsável: 35;
 C608C-Tamandaré-Bento-VOLTA saída: 18:05 Origem: LOTZATT Responsável: 42;
 C608D-Tamandaré-Bento IDA saída: 17:50 Origem: RST-453 Responsável: 78;
 C608D-Tamandaré-Bento-VOLTA saída: 15:40 Origem: Felix Responsável: 131;
 C608E-Tamandaré-Bento IDA saída: 13:20 Origem: RST-453 Responsável: 123;
 C608E-Tamandaré-Bento-VOLTA saída: 16:45 Origem: Felix Responsável: 104;
 C608F-Tamandaré-Bento IDA saída: 06:15 Origem: JOSEGAVA Responsável: 141;
 C608F-Tamandaré-Bento-VOLTA saída: 11:45 Origem: SaoRoque Responsável: 141;
 C609-Bento-StBarbara- IDA saída: 15:00 Origem: Felix Responsável: 123;
 C609-Bento-StBarbara-VOLTA saída: 13:00 Origem: STBarbara Responsável: 24;
 C609-Bento-StBarbara-VOLTA saída: 18:05 Origem: STBarbara Responsável: 123;
 C630-Bento-CBarbosa- IDA saída: 12:00 Origem: SaoRoque Responsável: 132;
 C630-Bento-CBarbosa-VOLTA saída: 06:25 Origem: CBarbosa Responsável: 9;
 C630A-Bento-CBarbosa- IDA saída: 12:15 Origem: CBarbosa Responsável: 9;
 C630A-Bento-CBarbosa- IDA saída: 17:30 Origem: CBarbosa Responsável: 113;
 C630A-Bento-CBarbosa-VOLTA saída: 08:00 Origem: Bento Responsável: 14;
 C630A-Bento-CBarbosa-VOLTA saída: 15:45 Origem: Bento Responsável: 35;
 C630A-Bento-CBarbosa-VOLTA saída: 18:30 Origem: Bento Responsável: 113;
 C631-Bento-CBarbosa- IDA saída: 07:10 Origem: CBarbosa Responsável: 137;
 C631-Bento-CBarbosa- IDA saída: 11:25 Origem: CBarbosa Responsável: 14;
 C631-Bento-CBarbosa- IDA saída: 14:00 Origem: CBarbosa Responsável: 132;

C631-Bento-CBarbosa-VOLTA saída: 08:15 Origem: Bento Responsável: 137;
C631-Bento-CBarbosa-VOLTA saída: 10:45 Origem: Bento Responsável: 53;
C631-Bento-CBarbosa-VOLTA saída: 13:45 Origem: Bento Responsável: 9;
C631-Bento-CBarbosa-VOLTA saída: 16:15 Origem: Bento Responsável: 141;
C631-Bento-CBarbosa-VOLTA saída: 19:20 Origem: Bento Responsável: 104;
C650-Bento-Garibaldi- IDA saída: 06:30 Origem: Garibaldi Responsável: 109;
C650-Bento-Garibaldi- IDA saída: 18:00 Origem: Garibaldi Responsável: 24;
C650-Bento-Garibaldi-VOLTA saída: 17:40 Origem: SaoRoque Responsável: 132;
C650-Bento-Garibaldi-VOLTA saída: 19:15 Origem: SaoRoque Responsável: 77;
C650A-Bento-Garibaldi- IDA saída: 10:30 Origem: Garibaldi Responsável: 109;
C650A-Bento-Garibaldi- IDA saída: 14:30 Origem: Garibaldi Responsável: 14;
C650A-Bento-Garibaldi- IDA saída: 16:45 Origem: Garibaldi Responsável: 9;
C650A-Bento-Garibaldi- IDA saída: 18:20 Origem: Garibaldi Responsável: 131;
C650A-Bento-Garibaldi-VOLTA saída: 09:00 Origem: SaoRoque Responsável: 38;
C650A-Bento-Garibaldi-VOLTA saída: 13:30 Origem: SaoRoque Responsável: 137;
C650A-Bento-Garibaldi-VOLTA saída: 15:35 Origem: SaoRoque Responsável: 14;
C650A-Bento-Garibaldi- IDA saída: 17:20 Origem: Garibaldi Responsável: 14;
C650A-Bento-Garibaldi-VOLTA saída: 09:00 Origem: SaoRoque Responsável: 95;
C650A-Bento-Garibaldi-VOLTA saída: 13:30 Origem: SaoRoque Responsável: 109;
C650A-Bento-Garibaldi-VOLTA saída: 15:35 Origem: SaoRoque Responsável: 53;
Numero total de onibus com Busca Tabu:0
Numero total de onibus na solucao inicial :22

APÊNDICE E – Exemplo de resultado dos horários da empresa Ditrento

C112-Caxias-NPadua-IDA saída: 07:00 Origem: NPadua Responsável: 0;
 C112-Caxias-NPadua-IDA saída: 12:30 Origem: NPadua Responsável: 0;
 C112-Caxias-NPadua-VOLTA saída: 11:10 Origem: Caxias Responsável: 37;
 C112-Caxias-NPadua-VOLTA saída: 17:00 Origem: Caxias Responsável: 0;
 C170-Caxias-FCunha-IDA saída: 05:50 Origem: FCunha Responsável: 134;
 C170-Caxias-FCunha-IDA saída: 06:30 Origem: FCunha Responsável: 50;
 C170-Caxias-FCunha-IDA saída: 06:50 Origem: FCunha Responsável: 82;
 C170-Caxias-FCunha-IDA saída: 07:10 Origem: FCunha Responsável: 104;
 C170-Caxias-FCunha-IDA saída: 07:55 Origem: FCunha Responsável: 120;
 C170-Caxias-FCunha-IDA saída: 08:55 Origem: FCunha Responsável: 134;
 C170-Caxias-FCunha-IDA saída: 10:00 Origem: FCunha Responsável: 50;
 C170-Caxias-FCunha-IDA saída: 10:40 Origem: FCunha Responsável: 82;
 C170-Caxias-FCunha-IDA saída: 11:30 Origem: FCunha Responsável: 104;
 C170-Caxias-FCunha-IDA saída: 12:15 Origem: FCunha Responsável: 134;
 C170-Caxias-FCunha-IDA saída: 13:00 Origem: FCunha Responsável: 50;
 C170-Caxias-FCunha-IDA saída: 13:55 Origem: FCunha Responsável: 82;
 C170-Caxias-FCunha-IDA saída: 14:30 Origem: FCunha Responsável: 104;
 C170-Caxias-FCunha-IDA saída: 14:55 Origem: FCunha Responsável: 120;
 C170-Caxias-FCunha-IDA saída: 16:00 Origem: FCunha Responsável: 37;
 C170-Caxias-FCunha-IDA saída: 16:45 Origem: FCunha Responsável: 134;
 C170-Caxias-FCunha-IDA saída: 17:45 Origem: FCunha Responsável: 50;
 C170-Caxias-FCunha-IDA saída: 18:00 Origem: FCunha Responsável: 82;
 C170-Caxias-FCunha-IDA saída: 18:45 Origem: FCunha Responsável: 104;
 C170-Caxias-FCunha-IDA saída: 19:40 Origem: FCunha Responsável: 37;
 C170-Caxias-FCunha-IDA saída: 20:15 Origem: FCunha Responsável: 134;
 C170-Caxias-FCunha-IDA saída: 21:00 Origem: FCunha Responsável: 0;
 C170-Caxias-FCunha-VOLTA saída: 06:30 Origem: Caxias Responsável: 59;
 C170-Caxias-FCunha-VOLTA saída: 07:00 Origem: Caxias Responsável: 68;
 C170-Caxias-FCunha-VOLTA saída: 07:20 Origem: Caxias Responsável: 53;
 C170-Caxias-FCunha-VOLTA saída: 07:55 Origem: Caxias Responsável: 131;
 C170-Caxias-FCunha-VOLTA saída: 08:45 Origem: Caxias Responsável: 118;
 C170-Caxias-FCunha-VOLTA saída: 09:25 Origem: Caxias Responsável: 31;
 C170-Caxias-FCunha-VOLTA saída: 10:00 Origem: Caxias Responsável: 59;
 C170-Caxias-FCunha-VOLTA saída: 11:25 Origem: Caxias Responsável: 68;
 C170-Caxias-FCunha-VOLTA saída: 12:15 Origem: Caxias Responsável: 53;
 C170-Caxias-FCunha-VOLTA saída: 13:00 Origem: Caxias Responsável: 59;
 C170-Caxias-FCunha-VOLTA saída: 13:25 Origem: Caxias Responsável: 131;
 C170-Caxias-FCunha-VOLTA saída: 14:00 Origem: Caxias Responsável: 118;
 C170-Caxias-FCunha-VOLTA saída: 14:55 Origem: Caxias Responsável: 68;
 C170-Caxias-FCunha-VOLTA saída: 15:20 Origem: Caxias Responsável: 53;
 C170-Caxias-FCunha-VOLTA saída: 16:00 Origem: Caxias Responsável: 120;
 C170-Caxias-FCunha-VOLTA saída: 16:40 Origem: Caxias Responsável: 59;
 C170-Caxias-FCunha-VOLTA saída: 17:25 Origem: Caxias Responsável: 131;
 C170-Caxias-FCunha-VOLTA saída: 17:55 Origem: Caxias Responsável: 68;
 C170-Caxias-FCunha-VOLTA saída: 19:00 Origem: Caxias Responsável: 50;
 C170-Caxias-FCunha-VOLTA saída: 19:30 Origem: Caxias Responsável: 82;
 C170-Caxias-FCunha-VOLTA saída: 20:25 Origem: Caxias Responsável: 104;
 C170-Caxias-FCunha-VOLTA saída: 22:10 Origem: Caxias Responsável: 0;
 C171-Caxias-FCunha-IDA saída: 06:45 Origem: FCunha Responsável: 87;
 C171-Caxias-FCunha-IDA saída: 13:30 Origem: FCunha Responsável: 31;
 C171-Caxias-FCunha-VOLTA saída: 10:25 Origem: Caxias Responsável: 87;
 C171-Caxias-FCunha-VOLTA saída: 18:30 Origem: Caxias Responsável: 53;

C175-Caxias-FCunha-IDA saída: 06:30 Origem: FCunha Responsável: 149;
C175-Caxias-FCunha-IDA saída: 12:40 Origem: FCunha Responsável: 87;
C175-Caxias-FCunha-VOLTA saída: 11:50 Origem: Caxias Responsável: 149;
C175-Caxias-FCunha-VOLTA saída: 18:00 Origem: Caxias Responsável: 118;
C176-Caxias-FCunha-IDA saída: 06:30 Origem: FCunha Responsável: 140;
C176-Caxias-FCunha-IDA saída: 12:40 Origem: FCunha Responsável: 140;
C176-Caxias-FCunha-VOLTA saída: 12:00 Origem: Caxias Responsável: 41;
C176-Caxias-FCunha-VOLTA saída: 18:15 Origem: Caxias Responsável: 31;
C716-FCunha-NPadua-IDA saída: 18:20 Origem: NPadua Responsável: 87;
C716-FCunha-NPadua-VOLTA saída: 06:35 Origem: FCunha Responsável: 39;
C716-FCunha-NPadua-VOLTA saída: 16:15 Origem: FCunha Responsável: 149;
C716-FCunha-NPadua-VOLTA saída: 19:15 Origem: FCunha Responsável: 120;
C717-FCunha-NPadua-IDA saída: 06:00 Origem: NPadua Responsável: 103;
C717-FCunha-NPadua-IDA saída: 12:00 Origem: NPadua Responsável: 39;
C717-FCunha-NPadua-IDA saída: 13:00 Origem: NPadua Responsável: 103;
C717-FCunha-NPadua-VOLTA saída: 11:50 Origem: FCunha Responsável: 19;
C717-FCunha-NPadua-VOLTA saída: 17:40 Origem: FCunha Responsável: 59;
RT701-FCunha-Caxias-IDA saída: 06:40 Origem: FCunha Responsável: 148;
RT701-FCunha-Caxias-IDA saída: 12:40 Origem: FCunha Responsável: 148;
RT701-FCunha-Caxias-IDA saída: 15:40 Origem: FCunha Responsável: 41;
RT701-FCunha-Caxias-IDA saída: 18:25 Origem: FCunha Responsável: 131;
RT701-FCunha-Caxias-IDA saída: 18:30 Origem: FCunha Responsável: 140;
RT701-FCunha-Caxias-VOLTA saída: 11:00 Origem: Caxias Responsável: 7;
RT701-FCunha-Caxias-VOLTA saída: 16:45 Origem: Caxias Responsável: 41;
RT701-FCunha-Caxias-VOLTA saída: 19:35 Origem: Caxias Responsável: 131;
RT701-FCunha-Caxias-VOLTA saída: 22:00 Origem: Caxias Responsável: 37;
RT701-FCunha-Caxias-VOLTA saída: 22:35 Origem: Caxias Responsável: 134;
RT702-FCunha-Caxias-IDA saída: 06:40 Origem: FCunha Responsável: 98;
RT702-FCunha-Caxias-IDA saída: 12:40 Origem: FCunha Responsável: 7;
RT702-FCunha-Caxias-IDA saída: 15:40 Origem: FCunha Responsável: 39;
RT702-FCunha-Caxias-IDA saída: 18:25 Origem: FCunha Responsável: 41;
RT702-FCunha-Caxias-IDA saída: 18:30 Origem: FCunha Responsável: 103;
RT702-FCunha-Caxias-VOLTA saída: 11:00 Origem: Caxias Responsável: 98;
RT702-FCunha-Caxias-VOLTA saída: 16:45 Origem: Caxias Responsável: 39;
RT702-FCunha-Caxias-VOLTA saída: 19:35 Origem: Caxias Responsável: 149;
RT702-FCunha-Caxias-VOLTA saída: 22:00 Origem: Caxias Responsável: 50;
RT702-FCunha-Caxias-VOLTA saída: 22:35 Origem: Caxias Responsável: 82;
Numero total de onibus com Busca Tabu:0
Numero total de onibus na solucao inicial :23

APÊNDICE F – Exemplo de resultado dos horários da empresa Ozelame

C121-Cx-Bento-Sert-IDA Saída: 07:10 Origem: Bento Responsável: 0;
 C121-Cx-Bento-Sert-IDA Saída: 07:45 Origem: Bento Responsável: 0;
 C121-Cx-Bento-Sert-IDA Saída: 13:30 Origem: Bento Responsável: 0;
 C121-Cx-Bento-Sert-IDA Saída: 15:30 Origem: Bento Responsável: 126;
 C121-Cx-Bento-Sert-VOLTA Saída: 06:05 Origem: caxias Responsável: 138;
 C121-Cx-Bento-Sert-VOLTA Saída: 10:30 Origem: caxias Responsável: 138;
 C121-Cx-Bento-Sert-VOLTA Saída: 13:30 Origem: caxias Responsável: 90;
 C121-Cx-Bento-Sert-VOLTA Saída: 15:30 Origem: caxias Responsável: 0;
 C121-Cx-Bento-Sert-VOLTA Saída: 16:20 Origem: caxias Responsável: 138;
 C121D-Cx-Bento-Sert-IDA Saída: 15:00 Origem: Bento Responsável: 68;
 C122-Cx-Bento-Barr-IDA Saída: 06:15 Origem: Bento Responsável: 87;
 C122-Cx-Bento-Barr-IDA Saída: 09:00 Origem: Bento Responsável: 132;
 C122-Cx-Bento-Barr-IDA Saída: 12:30 Origem: Bento Responsável: 87;
 C122-Cx-Bento-Barr-IDA Saída: 17:00 Origem: Bento Responsável: 90;
 C122-Cx-Bento-Barr-IDA Saída: 18:00 Origem: Bento Responsável: 0;
 C122-Cx-Bento-Barr-IDA Saída: 19:00 Origem: Bento Responsável: 138;
 C122-Cx-Bento-Barr-IDA Saída: 21:00 Origem: Bento Responsável: 126;
 C122-Cx-Bento-Barr-VOLTA Saída: 06:30 Origem: Caxias Responsável: 95;
 C122-Cx-Bento-Barr-VOLTA Saída: 11:30 Origem: Caxias Responsável: 132;
 C122-Cx-Bento-Barr-VOLTA Saída: 17:15 Origem: Caxias Responsável: 68;
 C122-Cx-Bento-Barr-VOLTA Saída: 18:30 Origem: Caxias Responsável: 87;
 C122-Cx-Bento-Barr-VOLTA Saída: 19:30 Origem: Caxias Responsável: 90;
 C122D-Cx-Bento-Barr-IDA Saída: 06:40 Origem: Bento Responsável: 58;
 C122D-Cx-Bento-Barr-IDA Saída: 07:00 Origem: Bento Responsável: 137;
 C122D-Cx-Bento-Barr-IDA Saída: 08:00 Origem: Bento Responsável: 103;
 C122D-Cx-Bento-Barr-IDA Saída: 12:00 Origem: Bento Responsável: 95;
 C122D-Cx-Bento-Barr-IDA Saída: 13:30 Origem: Bento Responsável: 132;
 C122D-Cx-Bento-Barr-IDA Saída: 17:00 Origem: Bento Responsável: 132;
 C122D-Cx-Bento-Barr-VOLTA Saída: 08:00 Origem: Caxias Responsável: 58;
 C122D-Cx-Bento-Barr-VOLTA Saída: 10:00 Origem: Caxias Responsável: 137;
 C122D-Cx-Bento-Barr-VOLTA Saída: 12:00 Origem: Caxias Responsável: 58;
 C122D-Cx-Bento-Barr-VOLTA Saída: 13:30 Origem: Caxias Responsável: 95;
 C122D-Cx-Bento-Barr-VOLTA Saída: 15:00 Origem: Caxias Responsável: 137;
 C122D-Cx-Bento-Barr-VOLTA Saída: 16:30 Origem: Caxias Responsável: 58;
 C122D-Cx-Bento-Barr-VOLTA Saída: 17:30 Origem: Caxias Responsável: 95;
 C122D-Cx-Bento-Barr-VOLTA Saída: 18:00 Origem: Caxias Responsável: 103;
 C130-Cx-CarlosBarbosa-IDA Saída: 06:30 Origem: CBarbosa Responsável: 121;
 C130-Cx-CarlosBarbosa-IDA Saída: 08:30 Origem: CBarbosa Responsável: 47;
 C130-Cx-CarlosBarbosa-IDA Saída: 12:15 Origem: CBarbosa Responsável: 121;
 C130-Cx-CarlosBarbosa-IDA Saída: 14:30 Origem: CBarbosa Responsável: 47;
 C130-Cx-CarlosBarbosa-IDA Saída: 16:15 Origem: CBarbosa Responsável: 121;
 C130-Cx-CarlosBarbosa-IDA Saída: 18:00 Origem: CBarbosa Responsável: 73;
 C130-Cx-CarlosBarbosa-VOLTA Saída: 06:15 Origem: Caxias Responsável: 146;
 C130-Cx-CarlosBarbosa-VOLTA Saída: 07:00 Origem: Caxias Responsável: 43;
 C130-Cx-CarlosBarbosa-VOLTA Saída: 09:30 Origem: Caxias Responsável: 114;
 C130-Cx-CarlosBarbosa-VOLTA Saída: 11:00 Origem: Caxias Responsável: 146;
 C130-Cx-CarlosBarbosa-VOLTA Saída: 12:30 Origem: Caxias Responsável: 43;
 C130-Cx-CarlosBarbosa-VOLTA Saída: 14:15 Origem: Caxias Responsável: 114;
 C130-Cx-CarlosBarbosa-VOLTA Saída: 16:45 Origem: Caxias Responsável: 47;
 C130-Cx-CarlosBarbosa-VOLTA Saída: 17:45 Origem: Caxias Responsável: 146;
 C130D-Cx-CarlosBarbosa-IDA Saída: 06:30 Origem: CBarbosa Responsável: 75;
 C130D-Cx-CarlosBarbosa-IDA Saída: 07:45 Origem: CBarbosa Responsável: 141;

C130D-Cx-CarlosBarbosa-IDA Saída: 13:15 Origem: CBarbosa Responsável: 75;
C130D-Cx-CarlosBarbosa-VOLTA Saída: 16:30 Origem: Caxias Responsável: 43;
C130D-Cx-CarlosBarbosa-VOLTA Saída: 18:30 Origem: Caxias Responsável: 132;
C140A-Cx-Farroupilha-IDA Saída: 20:00 Origem: Caxias Responsável: 0;
C140A-Cx-Farroupilha-IDA Saída: 21:30 Origem: Caxias Responsável: 138;
C140A-Cx-Farroupilha-IDA Saída: 22:00 Origem: Caxias Responsável: 68;
C140A-Cx-Farroupilha-IDA Saída: 22:30 Origem: Caxias Responsável: 87;
C140B-Cx-Farroup-Carav-IDA Saída: 16:30 Origem: Farroupilha Responsável: 87;
C140B-Cx-Farroup-Carav-VOLTA Saída: 13:45 Origem: Caxias Responsável: 141;
C150-Cx-Garibaldi-Bento-IDA Saída: 10:10 Origem: Garibaldi Responsável: 27;
C150-Cx-Garibaldi-Bento-IDA Saída: 11:05 Origem: Garibaldi Responsável: 65;
C150-Cx-Garibaldi-Bento-IDA Saída: 19:40 Origem: Garibaldi Responsável: 58;
C150-Cx-Garibaldi-Bento-VOLTA Saída: 07:30 Origem: Caxias Responsável: 28;
C150-Cx-Garibaldi-Bento-VOLTA Saída: 20:30 Origem: Caxias Responsável: 87;
C150D-Cx-Garibaldi-Bento-IDA Saída: 07:30 Origem: Caxias Responsável: 142;
C150D-Cx-Garibaldi-Bento-IDA Saída: 20:30 Origem: Caxias Responsável: 137;
C140-Cx-Farroupilha-IDA Saída: 06:00 Origem: Farroupilha Responsável: 113;
C140-Cx-Farroupilha-IDA Saída: 06:30 Origem: Farroupilha Responsável: 135;
C140-Cx-Farroupilha-IDA Saída: 06:45 Origem: Farroupilha Responsável: 10;
C140-Cx-Farroupilha-IDA Saída: 07:00 Origem: Farroupilha Responsável: 72;
C140-Cx-Farroupilha-IDA Saída: 08:00 Origem: Farroupilha Responsável: 31;
C140-Cx-Farroupilha-IDA Saída: 08:50 Origem: Farroupilha Responsável: 23;
C140-Cx-Farroupilha-IDA Saída: 09:50 Origem: Farroupilha Responsável: 113;
C140-Cx-Farroupilha-IDA Saída: 10:50 Origem: Farroupilha Responsável: 135;
C140-Cx-Farroupilha-IDA Saída: 11:50 Origem: Farroupilha Responsável: 28;
C140-Cx-Farroupilha-IDA Saída: 12:30 Origem: Farroupilha Responsável: 142;
C140-Cx-Farroupilha-IDA Saída: 12:50 Origem: Farroupilha Responsável: 10;
C140-Cx-Farroupilha-IDA Saída: 13:50 Origem: Farroupilha Responsável: 113;
C140-Cx-Farroupilha-IDA Saída: 14:50 Origem: Farroupilha Responsável: 27;
C140-Cx-Farroupilha-IDA Saída: 15:50 Origem: Farroupilha Responsável: 141;
C140-Cx-Farroupilha-IDA Saída: 16:50 Origem: Farroupilha Responsável: 75;
C140-Cx-Farroupilha-IDA Saída: 17:20 Origem: Farroupilha Responsável: 65;
C140-Cx-Farroupilha-IDA Saída: 17:50 Origem: Farroupilha Responsável: 28;
C140-Cx-Farroupilha-IDA Saída: 18:05 Origem: Farroupilha Responsável: 114;
C140-Cx-Farroupilha-IDA Saída: 18:20 Origem: Farroupilha Responsável: 27;
C140-Cx-Farroupilha-IDA Saída: 18:45 Origem: Farroupilha Responsável: 142;
C140-Cx-Farroupilha-IDA Saída: 19:20 Origem: Farroupilha Responsável: 141;
C140-Cx-Farroupilha-IDA Saída: 20:50 Origem: Farroupilha Responsável: 95;
C140-Cx-Farroupilha-VOLTA Saída: 07:15 Origem: Caxias Responsável: 22;
C140-Cx-Farroupilha-VOLTA Saída: 08:00 Origem: Caxias Responsável: 52;
C140-Cx-Farroupilha-VOLTA Saída: 09:00 Origem: Caxias Responsável: 72;
C140-Cx-Farroupilha-VOLTA Saída: 10:00 Origem: Caxias Responsável: 31;
C140-Cx-Farroupilha-VOLTA Saída: 11:00 Origem: Caxias Responsável: 23;
C140-Cx-Farroupilha-VOLTA Saída: 12:00 Origem: Caxias Responsável: 135;
C140-Cx-Farroupilha-VOLTA Saída: 13:00 Origem: Caxias Responsável: 72;
C140-Cx-Farroupilha-VOLTA Saída: 14:00 Origem: Caxias Responsável: 10;
C140-Cx-Farroupilha-VOLTA Saída: 14:30 Origem: Caxias Responsável: 31;
C140-Cx-Farroupilha-VOLTA Saída: 15:00 Origem: Caxias Responsável: 113;
C140-Cx-Farroupilha-VOLTA Saída: 15:30 Origem: Caxias Responsável: 135;
C140-Cx-Farroupilha-VOLTA Saída: 16:00 Origem: Caxias Responsável: 23;
C140-Cx-Farroupilha-VOLTA Saída: 16:30 Origem: Caxias Responsável: 72;
C140-Cx-Farroupilha-VOLTA Saída: 17:00 Origem: Caxias Responsável: 22;
C140-Cx-Farroupilha-VOLTA Saída: 17:30 Origem: Caxias Responsável: 10;
C140-Cx-Farroupilha-VOLTA Saída: 18:00 Origem: Caxias Responsável: 121;
C140-Cx-Farroupilha-VOLTA Saída: 18:15 Origem: Caxias Responsável: 75;

C140-Cx-Farroupilha-VOLTA Saída: 19:00 Origem: Caxias Responsável: 65;
Numero total de onibus com Busca Tabu:0
Numero total de onibus na solucao inicial :31

APÊNDICE G– Exemplo do formato do JAMON

Eu sou o Restricoes:

JAMon Label=Restricoes, Units=ms.: (LastValue=58726.0, Hits=1.0, Avg=58726.0, Total=58726.0, Min=58726.0, Max=58726.0, Active=0.0, Avg Active=1.0, Max Active=1.0, First Access=Tue Jun 14 15:06:57 BRT 2011, Last Access=Tue Jun 14 15:06:57 BRT 2011)