

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS E PROCESSOS  
INDUSTRIAIS – MESTRADO  
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM CONTROLE E OTIMIZAÇÃO DE  
PROCESSOS INDUSTRIAIS**

Eloy Maury Metz

**APLICAÇÃO DA METAHEURÍSTICA BUSCA EM VIZINHANÇA VARIÁVEL NO  
FRETAMENTO DE ÔNIBUS INTERMUNICIPAIS**

Santa Cruz do Sul, outubro de 2011.

Eloy Maury Metz

**APLICAÇÃO DA METAHEURÍSTICA BUSCA EM VIZINHANÇA VARIÁVEL NO  
FRETAMENTO DE ÔNIBUS INTERMUNICIPAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas e Processos Industriais – Mestrado, Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Sistemas e Processos Industriais.  
Orientadores: Profa. Dra. Rejane Frozza  
Prof. Dr. João Carlos Furtado

Santa Cruz do Sul, outubro de 2011.

Eloy Maury Metz

**APLICAÇÃO DA METAHEURÍSTICA BUSCA EM VIZINHANÇA VARIÁVEL NO  
FRETAMENTO DE ÔNIBUS INTERMUNICIPAIS**

Esta Dissertação foi submetida ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas e Processos Industriais – Mestrado – Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Sistemas e Processos Industriais.

Profa. Dra. Rejane Frozza  
Professora Orientadora

Prof. Dr. João Carlos Furtado  
Professor Co-orientador

Prof. Dr. Rolf Fredi Molz  
Examinador UNISC

Prof. Dr. Andre Zanki Cordenonsi  
Examinador UFSM

A meus pais,  
ARSILDO METZ e  
ROSA IRMA METZ.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pela saúde, proteção e oportunidade de chegar até aqui.

A meus pais, por sempre acreditarem na importância do estudo.

À minha família, em especial à minha esposa Célia, pelo apoio e incentivo durante todas as etapas da nossa vida juntos.

Aos professores da UNISC, pelo conhecimento compartilhado.

Aos orientadores Professora Doutora Rejane Frozza e João Carlos Furtado pelos conhecimentos transmitidos, pela orientação e apoio na realização deste trabalho.

Aos tantos amigos que encontrei, pelo convívio, pelos momentos de descontração, conselhos e pela troca de experiências.

A todos os demais, que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

## RESUMO

Na grande maioria das cidades do Brasil, o transporte coletivo por ônibus é o único meio de transporte público disponível para a população. Em cidades com maior número de habitantes, o grande número de veículos causa problemas no trânsito, como congestionamentos e poluição ambiental. Desta forma, verifica-se a necessidade de fomentar o transporte coletivo por ônibus. Uma medida que pode ser tomada, visando aumentar a utilização dos ônibus como transporte preferencial, é a redução de custos das tarifas. Como uma das maiores parcelas no custo das tarifas é o salário dos motoristas e cobradores, uma escala de trabalho adequada e eficiente poderia diminuir sensivelmente estes custos. O problema da escala diária de tripulantes consiste na atribuição da tarefa de condução dos veículos pelas tripulações, de tal forma que todas as viagens realizadas por uma empresa sejam executadas com o menor custo possível. O processo de escala é uma etapa de fundamental importância no planejamento das operações para uma empresa do setor de transporte coletivo e pertence à classe de problemas de difícil solução, cuja função de tempo computacional necessário para a resolução é não polinomial. Inúmeros métodos e técnicas têm sido aplicados para resolver tal problema, mostrando resultados bem variados. Este trabalho faz uso de um *software* específico desenvolvido para a geração da escala intermunicipal e, após, aplica uma metaheurística denominada Busca em Vizinhança Variável (VNS - *Variable Neighborhood Search*), para solucionar o problema dos ajustes das viagens de fretamento, com o objetivo de obter soluções melhores que as geradas hoje para os problemas reais. Durante a realização deste trabalho, foi desenvolvido um sistema computacional abordando o processo de geração da escala para as linhas regulares, para as linhas de turismo e para os fretamentos. São apresentados resultados dos experimentos computacionais com dados reais de uma empresa de transporte coletivo local. Foi empregado um método exato para a geração de soluções e os resultados obtidos apresentam um ganho em comparação com as soluções obtidas pela metodologia atualmente empregada no processo de geração da escala pela empresa.

Palavras-Chave: Problema de escala de tripulações, Metaheurística busca em vizinhança variável, Escala de fretamentos.

## ABSTRACT

In the vast majority of cities in Brazil, the bus transportation is the only public transportation available to the population. In cities with more inhabitants, the number of vehicles in traffic causes problems such as congestions and environmental pollution. Thus, there is a need to encourage bus transportation. A measure that can be taken in order to increase the use of the bus as preferred transport is the cost reduction of tariffs. As one of the biggest shares in the cost of the salary rates of drivers and conductors, a range of appropriate and effective work could significantly reduce these costs. The problem of scale daily crew consists in assigning the task of driving of vehicles by the crews, so that all trips made by a company to run with the lowest possible cost. The process of scale is a crucial step in the planning of operations for a company in the transportation and belongs to the class of problems difficult to solve, whose function of computational time for the resolution is not polynomial. Numerous methods and techniques have been applied to solve this problem, showing widely varying results. This work makes use of a specific software developed for the generation of inter-scale and, afterwards, apply a metaheuristic called Variable neighborhood search (VNS - Variable Neighborhood Search), to solve the problem of adjustments for charter trips, in order to obtain better solutions than those related to the real problems today. During this work, we developed a computer system by addressing the process of generation of the scale for the regular lines, lines for tourism and for charter. Are presented results of computational experiments with real data from a local transportation company. An exact method was used to generate solutions and the results show a gain in comparison with the solutions obtained by the methodology currently employed in the generation of the scale by the company.

Keywords: Crew scheduling problem, Variable neighborhood search metaheuristic, Charter Schedule.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - As Etapas do Problema de Planejamento Operacional.....	17
Figura 2 - Pseudocódigo VND. ....	25
Figura 3 - Pseudocódigo VNS. ....	26
Figura 4 - Estrutura de funcionamento do VNS. ....	27
Figura 5 - Jornadas iniciais geradas pela escala geral. ....	28
Figura 6 - Estruturas de vizinhança com realocação de tarefa. ....	28
Figura 7 - Estrutura de vizinhança com troca de tarefas. ....	29
Figura 8 - Estrutura de vizinhança com link entre tarefas. ....	29
Figura 9 - Estrutura de vizinhança com criação de nova jornada.....	30
Figura 10 - Escala padrão elaborada manualmente. ....	36
Figura 11 - Representação do sistema de transporte urbano. ....	39
Figura 12 - Representação do sistema de transporte intermunicipal. ....	39
Figura 13 - Escala do funcionário MOT08.....	42
Figura 14 - Tela Principal do Sistema SYSBUS.....	44
Figura 15 - Cadastro de linhas normais. ....	47
Figura 16 - Cadastro de linhas extras. ....	48
Figura 17 - Cadastro de linhas de fretamento.....	48
Figura 18 - Cadastro de funcionários filtrado pelo cargo de motoristas. ....	49
Figura 19 - Tela de montagem diária da escala. ....	49
Figura 20 - Publicação da escala inicial gerada.....	50
Figura 21 - Publicação da escala inicial consolidada por motorista.....	51
Figura 22 - Relatório de ociosidade diária.....	52
Figura 23 - Tela de aplicação da heurística VNS. ....	52
Figura 24 - Publicação da escala gerada após a aplicação da heurística VNS. ....	54
Figura 25 - Publicação da escala consolidada por motorista após aplicação do VNS. ....	55
Figura 26 - Relatório de ociosidade diária após a aplicação da heurística VNS.....	56
Figura 27 - Gráfico de ociosidade. ....	56
Figura 28 - Gráfico de Horas Extras.....	57

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ANTP	- Associação Nacional de Transporte Público
CLT	- Consolidação das Leis Trabalhistas
DAER	- Departamento autônomo de Estradas de Rodagem
OSO	- Ordem de Serviço de Operação
PPT	- Problema de Programação de Tripulações
PPTA	- Problema de Programação de Tripulações Aéreas
PPTI	- Problema da Programação dos Tripulantes Intermunicipais
PPV	- Problema de Programação de Veículos
PPVT	- Problema de Programação de Veículos e Tripulações
VND	- Variable Neighborhood Descent
VNS	- Variable Neighborhood Search

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	15
2.1 O Sistema de Transporte Coletivo.....	15
2.2 O Problema de Programação de Tripulações .....	16
2.3 Metaheurísticas.....	22
2.3.1 Para que Servem as Heurísticas .....	23
2.3.2 Diferentes Técnicas de Heurísticas .....	23
2.3.3 A Metaheurística VNS (Busca em Vizinhança Variável).....	24
2.3.4 A Estrutura de Vizinhanças.....	28
2.4 Trabalhos Relacionados.....	30
3. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA DE PROGRAMAÇÃO DE TRIPULAÇÕES ...	34
3.1 Descrição do Problema.....	35
3.2 Descrição do Fretamento .....	37
3.3 Definição das Restrições .....	37
3.4 Estratégia para Solução do Problema .....	40
4. METODOLOGIA DE PESQUISA .....	41
4.1 Métodos de Pesquisa .....	41
4.2 Síntese dos procedimentos Metodológicos.....	43
5. DESCRIÇÃO DO SISTEMA DESENVOLVIDO .....	44
5.1 Descrição do Sistema Específico de Ajuste dos Fretamentos .....	45
5.2 Descrição dos Testes Efetuados .....	46
6. CONCLUSÕES .....	59
6.1 Trabalhos Futuros .....	60
7. REFERÊNCIAS .....	62

## 1. INTRODUÇÃO

As empresas de ônibus Brasileiras percorrem na atualidade milhares de quilômetros por ano em todo o território nacional. Por ser um transporte relativamente barato, milhares de pessoas, além de uma enorme quantidade de carga são diariamente transportadas por este tipo de veículo.

Para que tudo funcione adequadamente, um grande número de trabalhadores entre motoristas, cobradores, fiscais, mecânicos e atendentes são diariamente escalados para executar suas funções e prestar um serviço de qualidade aos passageiros e suas cargas.

A tarefa de escalar diariamente os funcionários para o trabalho é difícil de ser executada, uma vez que o responsável precisa conhecer a fundo toda a organização, todas as particularidades de seus funcionários, além de ter sempre em mente as regras dos acordos trabalhistas dos sindicatos da classe e todas as regras da Consolidação das Leis Trabalhistas (CLT), documento que dita e regula todas as atividades para os trabalhadores do setor.

O processo que hoje, na grande maioria das vezes, acontece de forma empírica (baseado nas experiências humanas), entre erros e acertos, não tem o comprometimento da qualidade e da produtividade que as empresas necessitam, criando assim dificuldades para a tomada de decisão.

Além disso, as diretrizes governamentais para a democratização do acesso ao sistema de transporte público dependem da garantia de tarifas suportáveis para os usuários, e esta depende tanto do aumento da eficiência e da redução dos custos operacionais, quanto da concessão de subsídios em situações específicas, sob controle social (ANTP, 2005). Sabe-se que nas empresas de transporte coletivo a mão-de-obra operacional representa um dos maiores custos (Bouzada, 2002), então, uma pequena redução neste item pode significar um ganho considerável no custo total, reduzindo significativamente o valor das tarifas para o usuário final, justificando então qualquer trabalho no sentido de diminuir os custos com a mão-de-obra.

É através da organização do processo de escala e da eficácia na tomada de decisão que muitas empresas, com o mesmo porte, conseguem se destacar entre tantas outras. A informação é o ponto fundamental nestas empresas e aliada a recursos computacionais, como por exemplo, as ferramentas de *Geração de escala*, podem se tornar o diferencial para a organização visando à melhoria dos processos.

Desta forma, essa pesquisa foca seu estudo na proposta de desenvolvimento de um sistema computacional, para a automação e otimização do processo de inclusão das viagens de fretamento na elaboração da escala de motoristas de uma empresa de transporte coletivo de passageiros (ônibus), que utiliza a metaheurística denominada Busca em Vizinhança Variável (VNS) para a geração e otimização das viagens de fretamento.

O problema de elaboração de escala de trabalho foi identificado em uma empresa do setor de transporte coletivo de passageiros em Santa Cruz do Sul, mas o problema também existe na maioria das empresas de transporte coletivo de passageiros em todo o território nacional, independente do porte da empresa (pequena, média, grande).

Na empresa investigada, a definição da escala diária é baseada unicamente na experiência adquirida por um único funcionário responsável pelo setor. Já houve tentativas de repassar o conhecimento a outros funcionários que deveriam também compor o setor, porém estas foram infrutíferas pela complexidade do processo, além da necessidade do conhecimento de todo o funcionamento da empresa e também da CLT.

A complexidade para gerar a escala de trabalho gira em função do grande número de variáveis e componentes envolvidos no processo.

Iniciando-se pela escala do veículo que deverá fazer a viagem, torna-se necessário observar, por exemplo, a condição do motor, a condição dos pneus, do combustível, da limpeza, entre outras. Em suma, a condição geral do veículo que deve estar apto a realizar a viagem.

Parte-se, então, para a escala do motorista e do cobrador. Estes deverão estar em boas condições físicas, estar devidamente habilitado para o veículo escalado, conhecer o trajeto, deverão obrigatoriamente estar vindo de um turno de repouso, não poderão estar acumulando função de outro motorista, não poderão estar com excesso de horas de trabalho, deverão residir ou estar na localidade de partida na data e hora previstas para a realização da viagem, entre outras questões.

A escala do pessoal da manutenção, durante a semana, não é feita, pois o turno normal dos funcionários supre a necessidade de manutenção dos veículos. Ela é efetuada somente nos finais de semana e nos feriados, onde são escalados os mecânicos, eletricitas e pessoal de lavagem e limpeza dos veículos.

A escala de reservas, tanto de veículos, motoristas, cobradores e pessoal de manutenção é feita na razão de 5% do total do pessoal escalado.

Como o tema da escala de trabalho de uma empresa de transporte coletivo de passageiros é muito amplo, este trabalho foca na escala de motoristas com ênfase nas viagens de fretamento, que é complexa e que necessita de maior conhecimento para ser elaborada.

As viagens de fretamento são aquelas contratadas por terceiros (pessoas físicas ou jurídicas) para efetuarem um transporte de pessoas relacionadas a um evento ou funcionários de uma empresa. Uma excursão escolar é um bom exemplo de fretamento. Um professor ou responsável pela turma de alunos faz a reserva do veículo junto à empresa de transporte e na data e horário especificados parte a excursão. Esta reserva normalmente é feita com antecedência, pois a empresa precisa adequar a sua escala de tripulantes e de veículos para que possa cumprir o contrato da viagem.

Também através do contrato, além da responsabilidade para com os passageiros, a empresa de transporte coletivo tem responsabilidades para com a empresa (terceiro) que a contratou, uma vez que em caso de acidentes, as indenizações poderiam comprometer a continuidade da empresa de transporte.

Atualmente, o trabalho de montagem da escala é totalmente manual, gerando erros graves, pois com o grande número de funcionários que devem ser revezados em cada turno de trabalho, torna-se quase impossível lembrar o número máximo de horas que cada um deve cumprir, respeitando as folgas, a CLT, as doenças, os imprevistos, entre outros.

A adequação do processo à realidade da empresa e o seu conhecimento profundo foi um passo para a solução.

Desta forma, justifica-se a importância de estudar e propor um modelo adequado à necessidade da empresa, que apóie o processo de tomada de decisão no intuito de diminuir os problemas identificados, utilizar os recursos disponíveis da melhor maneira possível e, conseqüentemente, otimizar o processo de elaboração da escala de fretamentos.

Como vantagens desse estudo, podem-se citar as seguintes:

- Fortalecimento de projetos entre Universidade e Empresa através da pesquisa e o desenvolvimento de soluções práticas e eficazes para os problemas encontrados nos processos industriais.
- Redução significativa do tempo necessário para a elaboração do trabalho e minimização de falhas.

- Aumento da satisfação pessoal dos funcionários e, conseqüentemente, maior lucro para a empresa, por meio de melhorias e adequação no uso de seus recursos humanos disponíveis.

Como as viagens de fretamentos eram atribuídas aleatoriamente aos motoristas que estavam presentes na garagem no momento de início da viagem, a empresa tinha muitas horas extras a pagar. Isso ocorre em função destes motoristas já terem completado a sua carga horária e ainda estarem sendo utilizados para efetuar novas viagens, enquanto outros motoristas ficavam com a carga horária incompleta, pois não eram escalados e também não se apresentavam voluntariamente para efetuar as viagens.

As viagens de fretamento são muito importantes para a empresa de transporte, já que complementa de maneira substancial o faturamento mensal com viagens de lotação máxima durante toda a validade do contrato com a empresa contratante, além de serem viagens de curta duração onde se conhecem os passageiros e o trajeto, podendo ser efetuadas por motoristas iniciantes e com baixo custo. Aproveitam-se também as viagens de fretamento para o treinamento de jovens motoristas no que tange ao tratamento e cordialidade dispensados aos passageiros, além de aprenderem as artimanhas utilizadas pelos passageiros para tentar escapar do pagamento das passagens. Haverá também uma maior ocupação dos veículos que estão parados no pátio da empresa o que produzirá uma maior receita para a empresa.

Uma escala de fretamentos inadequada acarreta custos elevados em pagamentos de horas extras e funcionários ociosos, assim como a necessidade de contratação de mais mão de obra para que se possa atender toda a demanda. Acarreta também a necessidade de rearranjo dos demais motoristas para atender as linhas regulares, o que também causa custos.

Assim, o objetivo geral do trabalho é analisar o processo de elaboração da escala de motoristas de ônibus de uma empresa da região, identificando as suas necessidades e pontos críticos, propondo, então, o desenvolvimento de um sistema computacional, que permita a distribuição otimizada das escalas de fretamento dentro da escala de trabalho da tripulação.

Consideram-se como objetivos específicos:

- Acompanhar e compreender o processo de inclusão das viagens de fretamento na escala diária de motoristas.
- Levantar dados e analisar as características da metodologia utilizada.
- Identificar os problemas desse processo.
- Estudar as tecnologias adequadas à necessidade da empresa.

- Elaborar um sistema computacional que utilizará uma metodologia de otimização no processo de inclusão das viagens de fretamentos na escala de motoristas.
- Modelar o processo de acordo com a metodologia escolhida.
- Desenvolver o sistema computacional.
- Testar o sistema computacional em ambiente de teste.
- Avaliar o modelo no ambiente real.

O texto está organizado da seguinte forma: o capítulo 2 aborda a fundamentação teórica, o capítulo 3 aborda a caracterização do problema de programação de tripulações, o capítulo 4 aborda a metodologia de pesquisa, o capítulo 5 apresenta a descrição do sistema desenvolvido e o capítulo 6 apresenta as conclusões.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Este capítulo apresenta a descrição dos temas relacionados à pesquisa desenvolvida, tais como o sistema de transporte coletivo, o problema de programação de tripulações, metaheurísticas, o método heurístico VNS e trabalhos relacionados.

### **2.1 O Sistema de Transporte Coletivo**

A estrutura completa de um sistema para o transporte coletivo intermunicipal é composta dos diversos tipos de serviços que devem ser prestados, as linhas que são oferecidas, a política de cobrança das tarifas e as formas de cálculos dos reajustes, os veículos que são utilizados, além da maneira de divulgação das notícias da empresa.

De uma maneira geral, o poder público, através de empresas estatais como o DAER (Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem) ou por administração direta, define as linhas e itinerários, para o transporte público intermunicipal de passageiros, de modo a atender toda a região e também determina com que frequência as linhas devem operar, de forma a atender a demanda de deslocamentos de passageiros. O poder público também distribui as concessões para operação das linhas às empresas de transporte, realiza a fiscalização e gerencia todo o processo de prestação dos serviços (DAER 2010).

As empresas de transporte público são os agentes responsáveis pela execução dos serviços, incluindo a alocação dos veículos e de suas respectivas tripulações. Cabe a elas a determinação da quantidade de veículos necessários para efetuar o transporte dos passageiros da linha confortavelmente e também quantos elementos comporão a tripulação de cada veículo, oferecendo assim um trabalho com a melhor qualidade possível (DAER 2010).

Nos últimos anos, a falta de investimentos e priorização de ações visando reduzir os congestionamentos, levou as grandes metrópoles a enfrentarem uma crise de mobilidade em virtude do transporte de cunho individual. As consequências desta preferência é que a parcela de viagens motorizadas de cunho individual aumenta significativamente a cada ano (SPTRANS, 2006).

Devido ao reduzido investimento na infra-estrutura de metrô e trens para transporte coletivo no Brasil, os ônibus representam a totalidade do transporte público de massas na maioria das cidades (Política Nacional de Mobilidade Urbana Sustentável pag 34,

<http://www.ta.org.br/site2/Banco/7manuais/6PoliticaNacionalMobilidadeUrbanaSustentavel.pdf>).

Estes diminutos investimentos nos transportes públicos, especialmente em relação a metrô, trens e corredores de ônibus, tornam ineficaz o sistema de transporte coletivo intermunicipal, para atender às necessidades dos passageiros, os quais na maioria das vezes optam pelo transporte particular por automóvel que é muito mais rápido e confortável.

Também ocorre o problema da definição das tarifas, as quais visam determinar os valores dos serviços prestados pela empresas de transporte e refere-se ao valor da passagem paga pelo usuário do trajeto. Estes valores são definidos pela maneira como o estado e os empregadores financiam os serviços e da forma como grupos específicos têm direito à concessão de descontos e gratuidade (AGUIAR, 2001).

No cálculo do valor da tarifa que deverá ser cobrada do passageiro, considera-se que se não houver subsídios por parte do governo, os valores estabelecidos deverão cobrir todos os custos do sistema de transporte coletivo para aquele passageiro, bem como o custo dos passageiros que usufruem do serviço gratuitamente (idosos, deficientes e militares) ou com descontos (estudantes).

O poder público é o órgão que define o tipo e o tamanho dos veículos que deverão ser utilizados pelas empresas prestadoras do serviço para a execução do transporte dos passageiros. No entanto, o poder público não define a alocação dos veículos para realizarem as tarefas e na maioria dos casos limita-se a definir a frota necessária para cada linha. Percebe-se que o interesse do poder público é reduzir a frota para que possa reduzir os repasses de subsídios, uma vez que com menos veículos, reduzem-se os custos operacionais.

## **2.2 O Problema de Programação de Tripulações**

As decisões sobre a estrutura dos serviços, tais como as linhas, seus itinerários, frequências e também os tipos de veículos que devem ser utilizados são definidos claramente pelo poder público. Estas decisões são tomadas analisando-se as demandas de passageiros, os demais serviços requeridos, a infra-estrutura viária disponível e as condições do tráfego dos trajetos.

O poder público define uma Ordem de Serviço de Operação (OSO) para as linhas contendo as informações operacionais necessárias a cada uma individualmente, incluindo

locais de partida e de chegada, bem como horários de início e de término das viagens (Coletânea da Legislação Sobre Transporte Coletivo Intermunicipal de Passageiros, 2010, pag. 107; Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem - DAER). Respeitando estas definições as empresas de transporte devem adequar-se para cumprir as programações diariamente, cabendo a elas, então, a definição da programação dos veículos e das tripulações.

Em um sistema de transporte coletivo intermunicipal por ônibus, o planejamento operacional e a programação dos serviços dos tripulantes (motoristas e cobradores) são, devido a sua grande complexidade, geralmente decompostos em etapas, conforme mostrado na Figura 1. O órgão público (DAER) estipula a concessão das linhas e em virtude disto tem-se a demanda pelo serviço prestado. A partir destas duas premissas são geradas as tabelas de horários a serem cumpridas pela empresa. A programação, o rodízio e a escala das tripulações, são geradas em conjunto para atender as tabelas de horários. O fato de serem geradas em conjunto vem da necessidade de atender as leis trabalhistas, acordos sindicais e as regras internas da empresa.

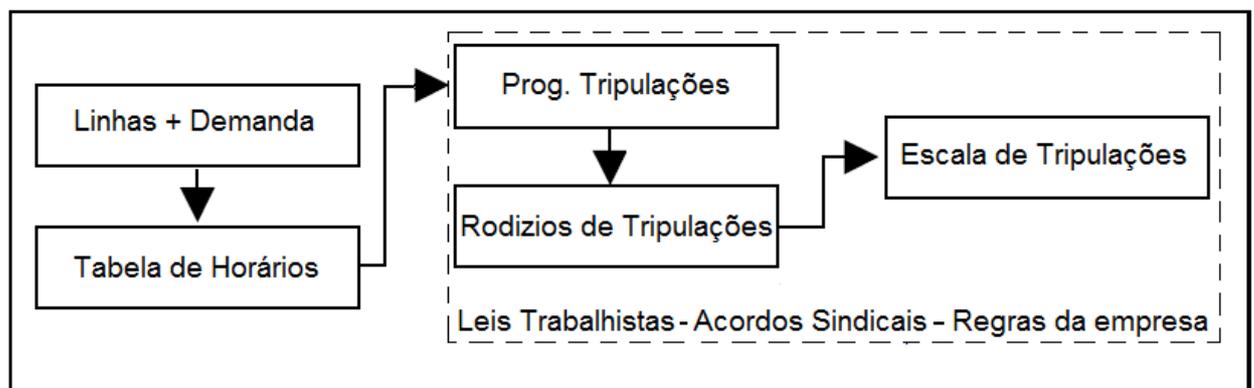


Figura 1 - As Etapas do Problema de Planejamento Operacional

Fonte: Elaborado pelo autor e adaptada de Lourenço et. AL (2001, p333)

O problema da programação dos tripulantes intermunicipais (PPTI) consiste em atribuir, a cada viagem de cada linha, um motorista e um cobrador que estejam presentes no local de partida, no horário de partida da linha, e que estejam com suficiente tempo livre em sua jornada de trabalho diária para a realização da tarefa. Cada viagem corresponde a uma tarefa e durante a execução da tarefa não é possível a troca ou substituição de parte ou de toda a tripulação.

Uma jornada de trabalho corresponde a todas as viagens que foram atribuídas a um tripulante ou a uma tripulação composta de um motorista e um cobrador, o que também é denominado de escala diária.

Na empresa onde foram pesquisados os dados para este trabalho, as jornadas são bastante heterogêneas em relação ao tempo de execução. O motivo são os trajetos de variadas distâncias a serem vencidas e, portanto, o tempo necessário para cumprir cada horário de cada linha é diferente. Como cada motorista ou cada tripulação deve cumprir obrigatoriamente sua jornada de trabalho de 08 (oito) horas diárias, um motorista ou tripulação pode efetuar apenas duas viagens de 04 (quatro) horas cada e já ter atingido seu limite de horas diárias, bem como outra tripulação deverá executar 05 (cinco) ou até 06 (seis) viagens para poder atingir suas 08 (oito) horas diárias. Esta diferença de duração de viagens é uma das principais causas da dificuldade na elaboração das escalas.

Inúmeros métodos para resolver o Problema de Programação de Tripulações (PPT) são apresentados na literatura e os resultados de cada um demonstram que existe uma redução muito significativa nos custos das operações quando são inseridos métodos heurísticos e aplicados sistemas de otimização aos casos reais. Alguns destes métodos podem ser encontrados em (Smith e Wren, 1981; Wren e Gualda, 1999; Silva e Gualda, 2000; Silva, 2001; Silva e Gualda 2001).

A programação de tripulações, normalmente aplicada nos sistemas de transporte público de passageiros, é gerada através da seleção dos melhores conjuntos de jornadas de trabalho. O Problema de Programação de Tripulações está diretamente ligado à geração de jornadas viáveis. A montagem das jornadas geralmente é muito complexa, já que as diversas regras da CLT e regras operacionais precisam ser observadas, tornando-se assim este problema como uma das áreas dominantes no roteamento de pessoal. Muitos artigos foram e estão sendo publicados, apresentando diversas técnicas de resolução do Problema de Programação de Tripulações em trens, ônibus e aviões (Martins, F. J., 2007; Constantino, A. A.; Novaes, A. G., 1997).

Os países mais desenvolvidos geralmente têm aplicado mais intensamente os resultados obtidos por estudos relacionados a este tema e a abordagem mais utilizada é a que formula o PPT como um problema de recobrimento ou particionamento (*set covering ou set partitioning model*) e utiliza, na maioria das vezes, o sistema de geração de colunas para a sua solução (Smit e Wren 1988, Desrochers e Soumis 1989, Desrochers *et al.* 1992, Barnhart *et al.* 1998, Fores *et al.* 1999). Os diversos métodos de geração das colunas, bem como as diferentes metodologias para solucionar o problema, originaram diversos trabalhos relacionados.

O método proposto por Ball *et al.* (1981) consiste em uma solução iterativa que resolve o problema combinando tarefas menores de trabalho em tarefas maiores, e estas são

transformadas em jornadas. Em diversas oportunidades durante o processo de geração de jornadas, o usuário tem a oportunidade de intervir, alterando ou eliminando combinações e refazendo os ajustes manualmente.

No artigo de Blais *et al.* (1990), é apresentado o HASTUS, uma aplicação orientada com sofisticados métodos de programação, que consiste num sistema de apoio à decisão para a programação de veículos e tripulações. O sistema HASTUS foi implantado em uma empresa de transporte coletivo na cidade de Montreal e devido à implementação de algoritmos inteligentes para a geração da escala de tripulações, foram economizados aproximadamente US\$ 4 milhões para a empresa que operava o transporte coletivo daquela cidade.

Ceder *et al.* (1983) descreve um sistema computacional que integra as três etapas do desenvolvimento de escala do horário de ônibus, escala de veículos e escala de tripulações. Concluindo a geração da escala de horários, escala dos veículos, o sistema gera as oportunidades de troca e, a partir da tabela gerada, o sistema gera a escala de tripulações utilizando uma heurística própria.

Moura *et al.* (2000) utilizam a programação inteira e geração de colunas como heurística principal para resolver o PPT, que foi montado como um problema de particionamento.

Freling *et al.* (2001) mostra o PPT como um problema de recobrimento e o resolve utilizando uma técnica de relaxação lagrangeana com a geração de colunas. Pedrosa e Constantino (2001) apresentaram uma solução com base no processo de recobrimento onde a mão de obra é separada por grupos a partir de uma lista, e é aplicada uma heurística construtiva através da geração de colunas na resolução do PPT.

Valouxis e Housos (2002) criaram níveis e os atribuíram a cada tripulante de maneira a obterem uma redução no tamanho do PPT. Os níveis gerados foram baseados em algoritmos de emparelhamento das trocas de tripulação.

Haase *et al.* (2001), adotou uma abordagem exata para resolver o problema de programação de veículos e tripulações, onde o problema é formulado como sendo um problema de particionamento para a escala de motoristas. Definida a escala dos tripulantes, resolve-se o itinerário dos veículos através de uma heurística de fluxo em rede.

Segundo Freling *et al.* (1999), classifica-se as abordagens para a resolução do PPT (Problema de Programação de Tripulações) em três tipos distintos: abordagem sequencial, independente e integrada. A abordagem sequencial foi a primeira a ser utilizada e consiste em

resolver o PPV (Problema de Programação de Veículos) e em seguida o PPT, já a abordagem sequencial inversa consiste em uma resolução partindo do PPT e em seguida resolvendo o PPV (Marinho *et al.*, 2004; Silva *et al.*, 2004; Souza *et al.*, 2004).

As grandes vantagens de utilizar estas abordagens (tradicional e inversa) são a grande facilidade da sua implementação e também a redução substancial na complexidade do problema. Utiliza-se o processo tradicional quando a programação dos veículos (PPV) tem um custo operacional maior em relação ao custo operacional da programação dos tripulantes (PPT), já a situação inversa é utilizada quando o caso é o oposto em relação aos custos operacionais.

As desvantagens deste processo (tradicional e inverso) consistem no não aproveitamento das interações existentes entre os problemas de programação de veículos e de tripulações, tornando este processo mais oneroso operacionalmente do que os processos integrados.

Freling *et al.*, (1999) mostra que no sistema de abordagem independente, a programação dos veículos resolve-se sem levar em conta o resultado da programação das tripulações, e em seguida a programação das tripulações é gerada sem levar em conta os resultados obtidos na programação dos veículos. Processo esse, que geralmente gera soluções inviáveis no lado prático, pois mesmo obtendo-se as soluções ótimas para ambos os problemas, as soluções não serão compatíveis entre si e não poderão ser aplicadas.

Com a evolução dos computadores e sua capacidade de processamento, iniciou o estudo da abordagem integrada nos seus dois níveis, pois devido a sua grande complexidade, o custo computacional era proibitivo.

No primeiro nível da abordagem integrada, a resolução baseia-se na programação de veículos que considera características dos tripulantes e, desta forma, a programação dos tripulantes torna-se facilitada. Encontra-se na literatura diversos artigos científicos que demonstram casos de aplicação deste tipo de abordagem a problemas reais (Freling *et al.* 2001; Freling *et al.* 2003; Huismann *et al.* 2001; Huismann *et al.* 2003; Huismann e Wagelmans, 2004; Reis 2006; Reis *et al.* 2006).

No segundo nível da abordagem integrada, resolvem-se simultaneamente as duas programações (veículos e tripulações). Isto torna esta abordagem um problema complexo devido a sua grande dimensão. Huisman e Wagelmans (2006) apresentaram os resultados obtidos através de um modelo matemático considerando o segundo nível da abordagem

integrada, porém para problemas com aproximadamente 300 viagens diárias. Este número de viagens é considerado reduzido, em virtude do porte médio das empresas brasileiras de transporte coletivo de ônibus.

Na abordagem sequencial, a programação da tripulação é resolvida como um problema de recobrimento. Freling *et al.* (2001) apresenta uma formulação inteira para solução do problema de programação de veículos e tripulações, onde o mesmo é resolvido através de relaxação lagrangeana combinada com geração de colunas.

A Relaxação Lagrangeana é uma das ideias computacionais mais úteis dos anos 70. É a observação que muitos problemas difíceis podem ser vistos como problemas fáceis com um número relativamente pequeno de restrições. A dualização das restrições difíceis, isto é, o acréscimo destas à função objetivo, através de um vetor de multiplicadores, chamados de *multiplicadores de Lagrange*, e eliminadas em seguida do conjunto de restrições, deve produzir um problema Lagrangeano que é fácil de resolver e cujo valor da solução ótima é um limite inferior (para problemas de minimização) para o valor ótimo do problema original. O *Problema Lagrangeano* pode, portanto, ser usado no lugar de um problema de *Relaxação Linear* para produzir limites num algoritmo de busca do tipo *branch and bound*. Além disso, com base nesse limite inferior, é possível estimar quão próxima está a solução viável disponível da solução ótima (Fisher, M.L.; 1981).

Gaffi e Nonato (1999) apresentaram uma proposta contendo uma heurística lagrangeana para solucionar o problema da abordagem integrada onde foi utilizada uma abordagem baseada em tarefas e restrições simplificadas.

Freling *et al.* (2003) afirmam que a abordagem integrada sempre obterá resultados mais satisfatórios do que a abordagem sequencial e também que obterá resultados inferiores aos resultados da abordagem independente, tendo em vista que esta última gera soluções inviáveis. Porém, a abordagem independente permite que sejam determinados limites inferiores para uma solução ótima do problema de programação de tripulantes.

O problema de programação de tripulações aéreas (PPTA) envolve restrições muito distintas do problema de programação de veículos e tripulações (PPVT), não sendo possível fazer analogias e aproveitar os mesmos métodos e abordagens desenvolvidos entre os dois problemas. Esta incompatibilidade entre a programação aérea e de ônibus decorre das restrições presentes no transporte aéreo.

A fundamentação teórica demonstra que os trabalhos efetuados no exterior para a solução dos problemas de menor porte são baseados na sua maioria em métodos exatos, tais como relaxação lagrangeana e geração de colunas, já nos problemas de maior dimensão utilizam-se os métodos heurísticos.

As heurísticas, de forma geral, são técnicas usadas em situações que podem ser modeladas como problemas de maximizar (ou minimizar) uma função cujas variáveis têm certas restrições. São estratégias comumente utilizadas para resolver problemas NP – Difíceis por oferecerem melhores soluções e geralmente com tempo de processamento menor do que por outros tipos de técnicas (GALBIER, 2004).

As heurísticas utilizam combinações de escolhas aleatórias e conhecimento histórico (dos resultados anteriores adquiridos pelo método) para se guiarem e realizar suas buscas pelo espaço de pesquisa em vizinhanças, o que evita paradas prematuras em ótimos locais Mladenovic & Hansen (1997).

O Método de Pesquisa em Vizinhança Variável (*Variable Neighborhood Search*, VNS), Mladenovic & Hansen (1997), é um método de busca local que consiste em explorar o espaço de soluções através de trocas sistemáticas de estruturas de vizinhança. Contrariamente a outras metaheurísticas baseadas em métodos de busca local, o método VNS não segue uma trajetória, mas sim explora vizinhanças gradativamente mais "distantes" da solução corrente e focaliza a busca em torno de uma nova solução, se e somente se um movimento de melhora é realizado. O método inclui, também, um procedimento de busca local a ser aplicado sobre a solução corrente.

### 2.3 Metaheurísticas

As metaheurísticas são métodos de busca locais, destinadas a encontrar uma boa solução, eventualmente a ótima, consistindo na aplicação, em cada passo, de uma heurística subordinada, a qual tem que ser modelada para cada problema específico (RIBEIRO, 1996).

Contrariamente às heurísticas convencionais, as metaheurísticas são de caráter geral e têm condições de evitar ótimos locais. As metaheurísticas, assim como os métodos de busca locais tradicionais, diferenciam-se entre si basicamente pelas seguintes características:

- Critério de escolha de uma solução inicial.
- Definição da vizinhança  $N(s)$  de uma solução  $s$ .

- Critério de seleção de uma solução vizinha dentro de  $N(s)$ .
- Critério de término.

### 2.3.1 Para que Servem as Heurísticas

A palavra heurística vem do grego “heuristiké”, cujo significado é "arte de descobrir". Ou seja, a heurística é um processo utilizado para a resolução de um problema, e consiste em métodos e regras que levam à invenção, à descoberta e à resolução de uma questão mediante o uso da criatividade. Seu método é responsável por proporcionar uma rápida e simples solução com o menor gasto de energia e esforço possível (RIBEIRO, 1996).

### 2.3.2 Diferentes Técnicas de Heurísticas

Os métodos heurísticos visam encontrar uma solução, não necessariamente a melhor, em um tempo computacional aceitável. Estes são aplicados a problemas cuja obtenção da solução ótima é computacionalmente dispendiosa quando calculada por métodos exatos (RIBEIRO, 1996). As heurísticas podem ser subdivididas em:

*Heurísticas Construtivas:* Utilizam técnicas de adição na construção da solução do problema. A cada iteração vão sendo agregados pontos às rotas parciais. Esta construção é um processo contínuo e gradativo.

*Heurísticas de Melhoria:* A partir de uma solução inicial, são feitas trocas com o objetivo de melhorá-la. A cada passo são feitas trocas, a fim de diminuir o custo original da rota. Estas tentativas de trocas são feitas até um critério de parada pré-estabelecido, como o tempo, um determinado número de iterações ou a não existência de soluções melhores no espaço de trocas definido.

Outra definição utilizada que visa buscar um resultado viável para problemas da classe NP, em um tempo computacional aceitável, é a de metaheurística. Esta consiste em uma forma de controlar técnicas heurísticas, a fim de permitir a inserção de pioras, buscando evitar encontrar soluções ótimas locais. Desta forma, é possível obter uma melhor solução geral para o problema.

### 2.3.3 A Metaheurística VNS (Busca em Vizinhança Variável)

O VNS (*Variable Neighborhood Search*) desenvolveu-se a partir do VND (Método de Descida em Vizinhança Variável) proposto em Mladenovick & Hansen (1997). O VND é um método de busca que explora o universo de soluções utilizando-se das trocas de estruturas, aceitando somente componentes que melhoram a solução corrente e refaz o processo iniciando na primeira estrutura quando uma solução melhor é encontrada. Já o VNS aceita componentes que melhoram a solução corrente como também constrói novas soluções a partir das soluções iniciais encontradas. Portanto pode-se dizer que o VNS é uma metaheurística de melhoramento e também uma metaheurística construtiva.

A troca de estruturas nada mais é que a substituição do elemento analisado por um mais eficiente encontrado pelo processo de VNS ou VND.

O método VND utiliza-se de uma estrutura de vizinhança principal buscando melhorar a solução atual. Quando isto já não é mais possível, o método troca a vizinhança corrente pela próxima e o procedimento retorna para a vizinhança principal quando uma melhor solução é encontrada. O algoritmo encerra-se após utilizar todas as estruturas de vizinhança e não conseguir melhorar a solução atual.

A figura 2 representa o pseudocódigo do algoritmo do VND. Uma variável S recebe uma solução inicial a ser melhorada e uma variável K recebe a primeira estrutura de vizinhança a ser pesquisada. Inicia-se então uma pesquisa por toda a extensão da vizinhança à procura de uma solução melhor que a solução corrente S. Caso encontrada uma solução melhor, esta é aceita como sendo a nova melhor solução corrente. Incrementa-se a estrutura e continua-se a pesquisa até o final da estrutura desta vizinhança. O algoritmo age assim até atingir o final de todas as vizinhanças e caso não seja encontrada solução melhor que a solução corrente, esta é assumida como a melhor solução encontrada para o problema.

A figura 3 representa o pseudocódigo do algoritmo do VNS. Uma variável S recebe uma solução inicial a ser melhorada e uma variável K recebe a primeira estrutura de vizinhança a ser pesquisada. Inicia-se então uma pesquisa por toda a extensão da vizinhança a procura de uma solução melhor que a solução corrente S. Caso encontrada uma solução melhor, esta é aceita como sendo a nova melhor solução corrente e reinicia-se o processo de pesquisa a partir da primeira estrutura de vizinhança até atingir o final da vizinhança, quando então troca-se de vizinhança e continua-se a busca a partir desta vizinhança. O algoritmo age

assim até atingir o final de todas as vizinhanças ou até o critério de parada ser atingido. Caso não seja encontrada solução melhor que a solução corrente, esta é assumida como a melhor solução encontrada para o problema.

```

Procedure TForm1.VNDClick(Sender: TObject);

    S := S0;
    K := 1 ;
    melhoria := FALSE;

    While (melhoria) do
    begin
        melhoria := FALSE;
        While (k < Kmax) do
        begin
            Aplicar_busca_local S':= Nk(s),
            If f(s') < f(s) then
            begin
                S := S' ;
                melhoria := TRUE;
            end
            else
                k := k + 1;
        end
    end;
End;
End.

```

Figura 2 - Pseudocódigo VND.

Fonte: Elaborada pelo autor e baseada em (MLADENOVIC & HANSEN, 1997).

O VNS, partindo de uma solução inicial, realiza busca local em sua vizinhança, igualmente ao seu antecessor, o VND. Porém, ao não encontrar uma solução que melhor satisfaça a condição, escolhe uma vizinhança cada vez mais distante da solução atual e se, por acaso, encontrar uma solução que melhor satisfaça, inicia uma nova busca, igual ao VND.

O VNS não segue uma trajetória pré-estabelecida na sua busca e sim explora a vizinhança mais distante da solução atual, focalizando a busca sempre por uma nova solução que seja melhor que a atual. O pseudocódigo da metaheurística é apresentado na figura 3 e detalhes adicionais do algoritmo podem ser vistos em Mladenovic & Hansen (1997).

```

Procedure TForm1.VNSClick(Sender: TObject);

    S := S0;
    K := 1;
    Nk := 1;
    While (critério de parada) do
    begin
        While (K < Kmax) do
        begin
            Aplicar_busca_local S':= Nk(S);
            If f(S') < f(S) then
            begin
                S := S';
                K := 1 ;
            end
            else
                k := k + 1;
        end;
    end;
End.

```

Figura 3 - Pseudocódigo VNS.

Fonte: Elaborada pelo autor e baseada em (MLADENOVIC & HANSEN, 1997).

Nesta metaheurística, inicia-se de uma solução inicial gerada pela escala e, a cada iteração da rotina, seleciona-se um vizinho S1 dentro da vizinhança N. Este vizinho é pesquisado por um procedimento de busca local em busca de uma solução ótima local S2. Caso esta solução local S2 encontrada for melhor que a solução corrente S, então o sistema atribui a melhor solução encontrada S2 à solução corrente S e recomeça-se a pesquisa a partir da primeira estrutura novamente. Caso a solução encontrada não seja melhor que a solução corrente, continua-se a busca a partir da próxima estrutura de vizinhança.

Esta rotina encerra-se quando o critério de parada for atingido, tal como o número máximo de iterações ou tempo decorrido a partir do início das pesquisas, ou ainda número máximo de iterações sem melhoria na solução corrente.

As estruturas de vizinhança utilizadas no VNS serão detalhadas no item 2.3.4.

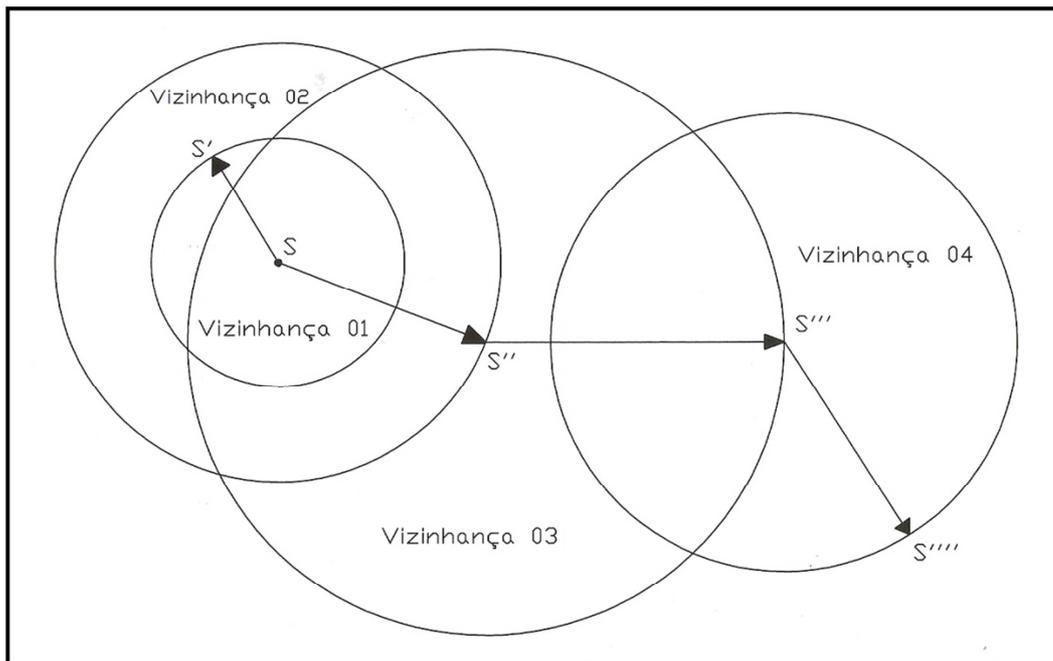


Figura 4 - Estrutura de funcionamento do VNS.

Fonte: Elaborada pelo autor e baseada em (MLADENOVIC & HANSEN, 1997).

Na figura 4, pode-se observar o método utilizado pela metaheurística VNS e de como ela explora as soluções nos problemas propostos. Partindo de uma solução  $S$ , realiza-se uma busca na vizinhança e escolhe-se uma solução  $S'$  que esteja dentro da estrutura desta vizinhança. Esta solução  $S'$  é confrontada com a solução  $S$  e caso ela não resulte em melhoria, ou seja, apresente um valor superior ao da solução  $S$ , então retorna-se para a solução  $S$  e realiza-se nova busca, porém, aumentando-se o raio de atuação e englobando-se nova vizinhança.

Aceitando-se a nova solução  $S''$  encontrada nesta vizinhança, atribui-se esta solução à solução corrente e a partir desta reinicia-se a busca na primeira vizinhança, ou seja, a vizinhança desta solução encontrada. Toda vez que uma solução melhor for encontrada, esta é movida para a solução corrente e a busca reinicia até o critério de parada ser atingido, quando então a última solução é considerada a solução ótima ou pelo menos a que melhor resolve o problema.

### 2.3.4 A Estrutura de Vizinhanças

Tendo uma solução inicial “A” e para atingir uma solução melhor “B”, onde “B” é dito vizinho de “A”, pode-se utilizar quatro tipos de movimentos: realocação de tarefas, troca de tarefas, *link* entre tarefas e criação de novas jornadas, para definir, respectivamente, quatro estruturas diferentes de vizinhança, conforme ilustram as figuras 5 e 6. Na figura 5 tem-se a jornada (J1) que possui 6 tarefas distintas (de A a F). Ao somar-se suas durações teoricamente foi ultrapassado o número de horas trabalhadas que o funcionário precisa executar diariamente. Na jornada (J2) tem-se 4 tarefas (de G a J), e, ao serem somadas as durações, teoricamente não atinge o número mínimo de horas que um funcionário deve realizar diariamente.

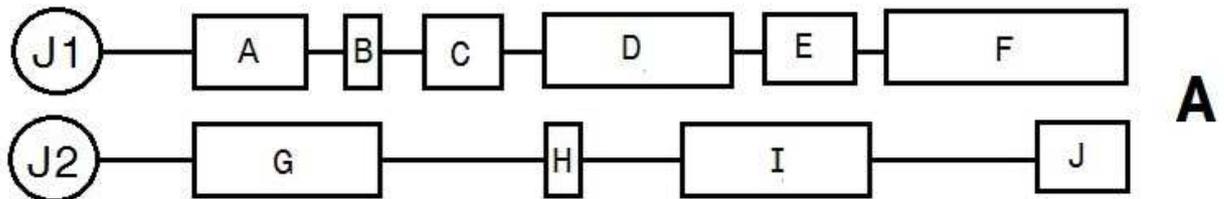


Figura 5 - Jornadas iniciais geradas pela escala geral.  
Fonte: Elaborada pelo autor e baseada em (REIS, 2007).

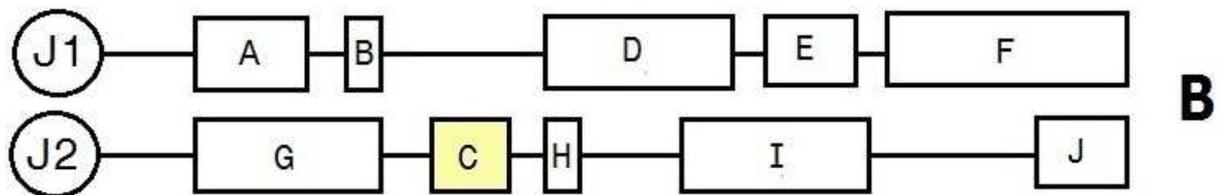


Figura 6 - Estruturas de vizinhança com realocação de tarefa.  
Fonte: Elaborada pelo autor e baseada em (REIS, 2007).

O movimento de realocação consiste em mover uma tarefa de uma jornada para outra. Na figura 6, mostra-se que a tarefa C, anteriormente pertencente à jornada J1, é realocada para a jornada J2, melhorando e equilibrando o número de horas trabalhadas das duas jornadas.

No movimento de troca, efetua-se a permuta das tarefas entre duas jornadas distintas. Na figura 7 mostra-se que as tarefas F e J são trocadas entre as jornadas J1 e J2, equilibrando melhor o número de horas de cada jornada.

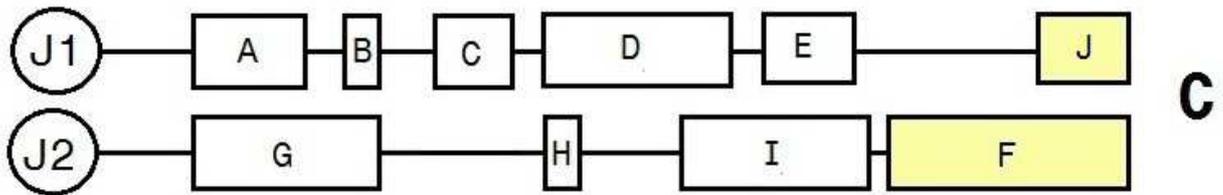


Figura 7 - Estrutura de vizinhança com troca de tarefas.  
Fonte: Elaborada pelo autor e baseada em (REIS, 2007).

O movimento *Link* entre tarefas constitui-se da troca de um conjunto de tarefas entre duas jornadas distintas J1 e J2. Conforme mostra a figura 8, a partir de uma solução "A" define-se um ponto de corte nas jornadas, horário a partir do qual ou até o qual os blocos de tarefas serão trocados para que haja um melhor equilíbrio e a melhoria dos horários totais das jornadas.

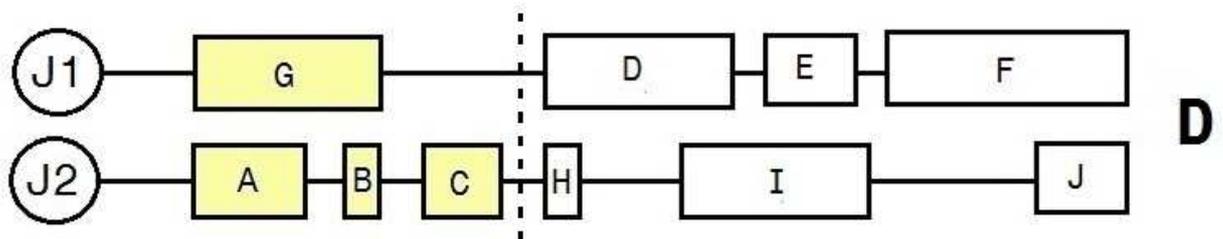


Figura 8 - Estrutura de vizinhança com link entre tarefas.  
Fonte: Elaborada pelo autor e baseada em (REIS, 2007).

O último movimento, a criação de novas jornadas, constitui-se da realocação de tarefas para uma nova jornada J3 criada a partir de duas jornadas distintas J1 e J2. Conforme mostra a figura 9, a partir de uma solução "A" cria-se uma nova jornada que irá acomodar o excesso de horas definidas pela escala geral durante a geração da solução inicial, reduzindo assim o número de horas extras e aproveitando melhor os motoristas ociosos.

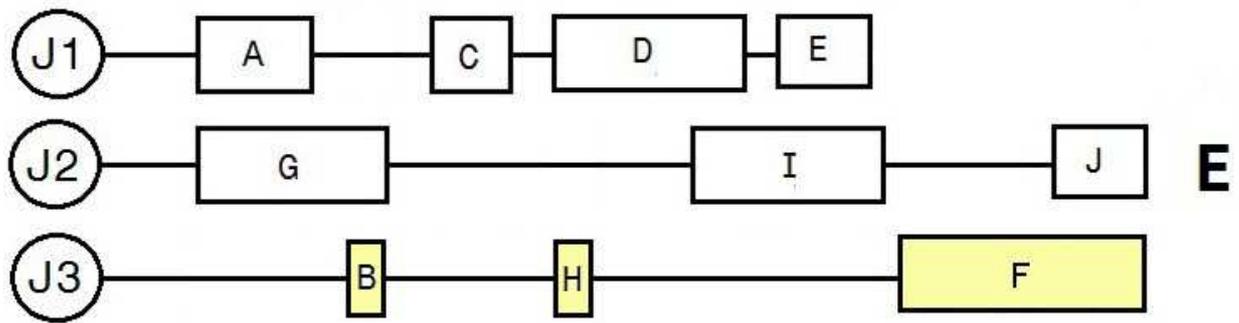


Figura 9 - Estrutura de vizinhança com criação de nova jornada.  
Fonte: Elaborada pelo autor.

As movimentações de trocas de tarefas entre jornadas no sistema de transporte coletivo de passageiros intermunicipal não pode ocorrer de forma aleatória como ocorre no sistema de transporte de passageiros municipal (REIS, 2007). O motivo é que a tripulação que deverá receber a nova tarefa deve estar presente na hora e na localidade de início da tarefa, algo que na modalidade urbana é perfeitamente possível, porém na modalidade intermunicipal muitas vezes as localidades estão separadas por distâncias de vários quilômetros entre si.

## 2.4 Trabalhos Relacionados

Conforme Siqueira P. H. (1999) existe um método de elaboração de escalas de trabalho de motoristas e cobradores de ônibus conhecido na literatura como método HASTUS. Neste método, três fases são utilizadas para a construção das escalas. Inicialmente, uma escala aproximada é construída usando-se um processo de Programação Linear, relaxando-se as restrições de integralidade e de factibilidade objetivando a redução do tempo computacional. Estas restrições referem-se às possibilidades de formação e de combinação de escalas, máxima duração de uma parte de escala e sobre os locais de possíveis trocas de funcionários. Deste modo, obtêm-se as primeiras escalas, que são denominadas “pedaços” de trabalho. O conjunto formado por estas escalas é denominado escala aproximada.

Num segundo momento, as jornadas são divididas novamente, em partes semelhantes às primeiras escalas geradas, objetivando melhorar a escala aproximada. Estas melhorias são possíveis, reduzindo-se a quantidade de horas-extras e o número de motoristas das primeiras divisões.

A próxima fase consiste na combinação destas escalas divididas com a utilização do algoritmo *matching* onde pesos são atribuídos para as combinações factíveis de escalas de

trabalho. O *matching* de peso máximo será a solução ótima da combinação. Na última fase, as divisões das tabelas são reconsideradas. Entretanto, algumas melhorias ainda são feitas modificando-se estas divisões visando, ainda, a redução de número de funcionários e a quantidade de horas-extras. Os diferentes modos de aplicação destes métodos e de sua elaboração podem ser vistos em publicações, como Blais et al (1976), Lessard et al (1981) e Rousseau et al (1985).

Há as heurísticas de divisões sucessivas que constroem as escalas de trabalho em apenas duas fases. Num primeiro momento, as divisões das escalas são feitas e combinadas, formando-se uma jornada diária de trabalho para a tripulação. Estas escalas combinadas devem formar dias de trabalho factíveis, com a mesma ideia utilizada no primeiro estágio do método Hastus.

Na última fase, as divisões são modificadas várias vezes e o algoritmo heurístico constrói jornadas de trabalho factíveis, melhorando sensivelmente as escalas obtidas na primeira fase, com relação ao número de motoristas e de horas extras.

As publicações que mostraram estes métodos heurísticos e suas aplicações bem detalhadas são: Manington & Wren (1975), Wilhelm (1975), Wren et AL (1985).

A geração de colunas é outro método bastante utilizado para construir escalas de trabalho e também usado para resolver problemas de Programação Linear que envolvem muitas variáveis. Conforme Desrochers & Soumis (1989) o processo de cobertura de conjuntos é utilizado para elaborar as escalas objetivando cobrir todas as escalas com um custo mínimo. Em sua formulação, a função de avaliação minimiza os custos dos dias de trabalho, e cada variável representa um dia de trabalho factível.

Semelhante ao problema das escalas de motoristas de ônibus, o problema das escalas de trabalho para a tripulação ferroviária consiste em construir as escalas de trabalho e designá-las aos funcionários de tal maneira que a tabela de demandas seja cumprida. Maiores detalhes deste problema podem ser encontrados em Caprara et al (1997).

Inicialmente, toma-se uma tabela de serviços de trem, a ser cumprida diariamente em certos períodos de tempo. Alguns segmentos de jornada são definidos para cada funcionário. Estes segmentos definem os tempos inicial e final de uma jornada e as estações de entrada e de saída para um funcionário. Quando um funcionário termina sua jornada, o mesmo pode retornar à estação base (início da jornada), ou deslocar-se a outra estação para iniciar outra jornada.

Este deslocamento não é considerado como uma jornada de trabalho e o funcionário tem um intervalo de pelo menos um dia para fazer este deslocamento e iniciar sua próxima jornada de trabalho em uma estação. O problema consiste em encontrar um conjunto de escalas, que cubra toda a tripulação e satisfaça a demanda, com um custo mínimo. Para resolver este problema, considera-se um grafo direcionado, onde o arco  $(i, j)$  existe se, e somente se, a sequência de trabalho  $(i, j)$  existir, ou seja, o funcionário  $j$  puder substituir o funcionário  $i$  em uma determinada estação.

Utiliza-se o modelo clássico de cobertura de vértices, com a Relaxação Lagrangeana para modelos de Programação Linear Inteira (FISHER, 1981). Este trabalho foi implementado em uma companhia férrea italiana, e os resultados desta aproximação Lagrangeana foram melhores do que os resultados heurísticos, utilizados pela companhia.

O seguinte problema é semelhante ao de construção de escalas para tripulação ferroviária, e está apresentado com mais detalhes em Gamache et al (1999).

A resolução dele é feita em duas fases. Na primeira fase, formam-se pares de segmentos de vôo em dois dias consecutivos, onde a tripulação viaja e retorna à cidade base. Alguns dias isolados, que não formam pares, são separados dos demais períodos. O problema de tripulação em pares consiste em encontrar o conjunto de pares que cobre todos os segmentos de vôo, com custo mínimo. O custo de um par de vôos é dado pela duração total deste par.

Na segunda fase, toma-se a listagem da tripulação, construindo-se a escala mensal personalizada para cada funcionário, de acordo com sua atividade. O método de geração de colunas pode ser utilizado para resolver este problema, gerando vários subproblemas NP - difíceis.

Este procedimento de solução foi testado na companhia AIR FRANCE, onde o problema pode ser dimensionado do seguinte modo: milhares de restrições, centenas de subproblemas e centenas de milhares de arcos. Alguns testes com o programa CADET mostram que a aplicação do método de geração de colunas é mais eficiente computacionalmente para o problema da companhia AIR FRANCE, e os resultados são melhores do que os métodos heurísticos utilizados pela companhia.

O seguinte problema é semelhante ao de construção de escalas para tripulação Aérea e ferroviária, e está apresentado com mais detalhes em REIS (2008).

O problema consiste em gerar uma escala factível para empresas de transporte coletivo de passageiros de ônibus urbano e utiliza-se da metaheurística Busca em Vizinhança Variável (VNS) para resolver este problema complexo.

Partindo-se de uma solução inicial qualquer e, a cada iteração, o sistema seleciona aleatoriamente um vizinho dentro da vizinhança possível na solução corrente. Submete-se este vizinho a um processo de busca local e avalia-se a solução encontrada. Caso esta for melhor que a solução corrente, atribui-se esta solução à solução corrente e a busca continua reiniciando na primeira estrutura de vizinhança. Se a solução encontrada não for melhor que a solução corrente, a busca continuará a partir da próxima estrutura de vizinhança. O procedimento conclui-se quando uma condição de parada for encontrada.

A abordagem utilizando Busca em Vizinhança Variável (VNS) mostrou-se adequada ao problema e mostrou ser eficiente em problemas de grandes proporções o que permitiu a redução de custos do sistema de transporte de passageiros urbano via ônibus.

De uma maneira geral, os trabalhos relacionados auxiliaram na condução da escolha pela metaheurística VNS, esclarecendo os diversos aspectos do desenvolvimento e aplicação desta técnica nas escalas dos mais diversos segmentos. Na literatura, estão disponíveis diversas heurísticas e os diversos métodos de resolução do sistema de escalas. Aplica-se um ou outro método dependendo das particularidades de cada segmento apresenta.

### **3. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA DE PROGRAMAÇÃO DE TRIPULAÇÕES**

O problema de programação de tripulações intermunicipais consiste na elaboração eficaz das tarefas diárias dos tripulantes de ônibus, que respeite as suas limitações e que cumpra com as suas obrigações.

As escalas das tripulações podem variar de acordo com o dia da semana e datas especiais, por exemplo: dias úteis da semana, finais de semana (sábado e domingo) e feriados. A maior demanda por viagens concentra-se nos dias úteis em virtude da maior movimentação de pessoas e cargas, portanto estas programações são de maior interesse devido a sua maior complexidade e também pelo fato da necessidade de mão-de-obra ser bem maior.

Na empresa onde o estudo foi realizado, a necessidade de mão-de-obra para os sábados é aproximadamente 35% menor que nos dias úteis, e para os domingos a programação chega a atingir 60% menos que nos dias úteis. Nas datas especiais, como feriados, a programação é variada, pois nos feriados de final de ano (Natal e Ano Novo), normalmente existe uma grande movimentação de passageiros, e em outros feriados comuns a movimentação compara-se a de domingos.

Também, torna-se necessária a programação diferenciada quando existem feriados municipais, pois em alguns municípios pode ser feriado e em outros não, o que acaba gerando uma movimentação desequilibrada. Outro fator de desequilíbrio na movimentação são as férias escolares, pois durante esta época do ano a frequência e quantidade de passageiros diminui ou varia sensivelmente.

Ao montar-se a escala de trabalho das tripulações, deve-se levar em conta as diversas restrições de cada profissional, sendo elas operacionais ou trabalhistas. As restrições operacionais decorrem das práticas de gestão operacional da empresa e também de acordos entre os funcionários e a empresa. Já as restrições trabalhistas surgem do respeito à Consolidação das Leis do Trabalho (CLT) e de acordos coletivos entre os sindicatos das categorias e as empresas. As restrições obrigatórias são aquelas que precisam ser respeitadas para se ter uma escala possível de aplicação (por exemplo, um motorista deve estar no local de início da viagem na hora de início da viagem); e as restrições não obrigatórias são aquelas que se respeitadas melhoram sensivelmente a qualidade da escala, porém não inviabilizam a escala se elas não forem respeitadas (por exemplo, uma viagem extra de uma tripulação que já cumpriu sua jornada de 8 horas diárias).

Certas restrições variam de acordo com a cultura do povo onde a empresa está inserida. Em alguns locais, as tripulações são trocadas de linhas diariamente para que o trabalho não se torne monótono e para que a tripulação atenda um público diferente diariamente. Já em outros locais, as tripulações são mantidas sempre na mesma linha, pois o relacionamento entre passageiro e tripulação gera fidelidade para a empresa e também para que a viagem não se torne demasiadamente longa em virtude do não conhecimento do trajeto por parte da tripulação.

A programação de tripulantes difere-se do rodízio de tripulantes, pois a programação refere-se às tarefas de um dia de serviço normal, que pode ser um dia útil de uma semana normal ou um final de semana ou mesmo um feriado, enquanto que o rodízio de tripulantes trata de um período maior, como um mês em seus 30 dias, onde serão consideradas as folgas, os descansos aos domingos, as férias, as horas extras e todas as demais regras da CLT.

Portanto, a programação de tripulações trata unicamente das tarefas diárias de um tripulante ou tripulação, enquanto o rodízio ou a roteamento de tripulantes compõe-se das várias programações durante um período a ser determinado, geralmente um mês, onde são respeitadas as diversas regras folgas, férias, descansos, entre outras.

### **3.1 Descrição do Problema**

O problema utilizado na análise é o de uma empresa de transporte privado, situada em Santa Cruz do Sul. Durante o ano de 2011, a empresa está sendo responsável por 51 linhas normais, 30 linhas extras e 93 linhas de fretamentos com frota empenhada de 53 veículos. Para operar esta frota a empresa conta com 66 tripulações.

A escala gerada manualmente é bastante confusa e não apresenta informações importantes, além de não gerar a ficha ponto na qual são computadas as horas trabalhadas de cada profissional. O problema em questão são as diversas viagens de fretamento que são intercaladas entre uma e outra viagem de linha normal ou extra. Porém, os fretamentos são intercalados manualmente sem uma previsão de total de horas trabalhadas ou de quem irá efetuá-las.

Na maioria das vezes, ocorre que motoristas já sobrecarregados assumem ainda viagens de fretamento, em virtude de agregarem ao seu salário mensal um número elevado de horas extras, ao passo que outros motoristas que preferem ficar ociosos não se apresentam

para assumir estas tarefas. Com o elevado número de horas extras e a ociosidade de alguns motoristas, em alguns períodos do ano, a folha de pagamento chega a ser onerada em até 20%. A Figura 10 mostra a escala manual efetuada hoje na empresa. Esta escala refere-se apenas aos horários e linhas utilizados para os testes neste trabalho.

<b>ESCALA DE SERVIÇOS - Expresso Sinimbu 22/08/2011</b>							
HORARIO	CARRO	MOTORISTA	COBRADOR	HORARIO	CARRO	MOTORISTA	COBRADOR
05:45	54	MOT01	COB01	06:10 PIC.	38	MOT09	COB01
06:45Unisc	47	MOT02	COB02	07:00	48	MOT01	COB02
06:45	50	MOT03	COB03	08:15	44	MOT03	COB03
06:45 E.V.	17	MOT04	COB04	09:30	26	MOT04/MOT03	COB04
07:00 UNISC	32	MOT05	COB05	10:00	17	MOT04	COB05
07:30 REF.	17	MOT04	COB06	10:45 PROG	47	MOT02	COB06
07:30	33	MOT06	COB07	10:45Gx(+11:10 UNISC)	32	MOT05	COB07
08:15	35	MOT07	COB08	11:00 T.D.J.	33	MOT06	COB08
10:00	34	MOT08	COB09	12:00	28	MOT08	COB09
11:30	51	MOT04	COB10	13:15	35	MOT04/MOT08	COB10
11:45	38	MOT09	COB11	14:30	31	MOT07/MOT04	COB11
12:20 T.D.J.	33	MOT06	COB12	15:00	34	MOT11/MOT07/MOT13	COB12
13:00	X	X	X	15:45	33	MOT06	COB01
12:55Unisc	29	MOT10	COB13	16:35Unisc	29	MOT10	COB02
13:05(CONEXAO)	19	MOT11	COB14	16:35 Lª BRANCA	28	MOT11(IR R PARDINHO)	COB03
14:30	15	MOT01	COB15	17:15 T.D.J.	44	MOT01(V.SC)	COB04
16:00	42	MOT12	COB01	17:00	19	MOT12	COB05
17:15	31	MOT04	COB02	17:30	54	MOT14	COB06
<b>18:00 UNISC</b>	58	MOT13	COB03	17:30Lª7	45	MOT07/MOT04	COB07
18:25(UNISC-CONEXAO)	54	MOT14	COB04	17:55	51	MOT11	COB08
18:30 C.BEM	39	MOT15	COB05	18:15RPEQ	31	MOT04/MOT08	COB09
18:45UNISC	32	MOT16	COB06	19:00	58	MOT01	COB10
				20:45 UNISC	44	MOT12	COB11
				22:13 CORREIO	32	MOT16	COB12
				22:10 RODO+UNISC	39	MOT15	COB01
				23:00 HS S/H/PIN/	32	MOT16	XXXX
<b>SINIMBU</b>							
				<b>HORARIO</b>	<b>ITIN.</b>	<b>CARRO</b>	<b>MOTORISTA</b>
				11:35	ARPQ	17	MOT08
06:00	ARPQ	37	MOT11	11:35	C. Baú	37	MOT11
06:00	BISM+C. MULA+C. BAÚ		MOT13	11:30	C.Mula/Bism./Sin C 46		MOT02
06:30	SIN+3 COLONIAS+C.CABRITOS C		MOT04	17:15(GLORIA)	Des/Salto/pintado C 17		MOT02
07:20	TDJ+E.V.		MOT04	17:15(GLORIA)	C.Baú	41	MOT09
07:30	REF. LEVAR ALUNOS OLARIA		MOT06	17:15 S.J. 17:45:0	ARPQ	37	MOT11
10:40	Des+Salto+Pint C 41		MOT07	SB M C 51-42	SB MD C 42-49	SB T C 49-46-	
06:30 HS Lª SETE(CAIXA D'AGUA)+TRAVESSA BOHNN+Lª TRAVESSA C 45				MOT11			
06:45 HS REFORÇO RIO PARDINHO(CRISTIANO)-SINIMBU C 49				MOT01			
11:50 HS RIO PARDINHO+Lª SETE C 45				MOT02			
11:30 HS SINIMBU-RIO PARDINHO-CERRO DOS CABRITOS(+12:45 ASFALTO) C 44				MOT08			
11:50 HS RIO PARDINHO+T. DONA JOSEFA C 33				MOT06			
17:15 HS Lª SETE C 45				MOT12			
ATENÇÃO HORARIO 11:30 HS SINIMBU-STA CRUZ CARREGAR ALUNOS PARA ASFALTO NO COLÉGIO				MOT06			

Figura 10 - Escala padrão elaborada manualmente.

Fonte: Elaborada pelo autor, baseado nos dados da Empresa.

### 3.2 Descrição do Fretamento

O termo “*Fretamento*” é utilizado para nomear as viagens feitas pelos veículos e por suas tripulações para atender clientes específicos, com origem, destino e horários pré-determinados. Estas viagens normalmente são de curta duração e recolhem passageiros que atuam como funcionários em empresas cujos turnos exigem grande demanda de mão de obra. Normalmente, nos grandes centros o sistema de transporte coletivo municipal é responsável por este tipo de transporte, não existindo a figura do fretamento. Porém, nas cidades do interior este tipo de trabalho é bastante comum em virtude da menor oferta de mão de obra. As empresas contratantes precisam oferecer o transporte para garantir que os trabalhadores estarão na empresa na hora de início de suas jornadas e que retornem seguros aos seus lares ao final da jornada diária.

Os Fretamentos normalmente ocorrem em horários específicos como de início da manhã entre 5h e 8h, ao meio dia entre 11h e 13h, ao final da tarde entre 18h e 20h e no final do dia entre 22h e 24h. As linhas intermunicipais normais determinadas pelo DAER (Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem) normalmente iniciam em torno de 6h da manhã e concluem após as 22h, pois nestes horários concentra-se a maior demanda por deslocamentos intermunicipais. Entretanto, os fretamentos representam um substancial aumento no faturamento das empresas que somente com as linhas normais, muitas vezes, não conseguem fazer frente aos seus compromissos financeiros e tributários. Então, os fretamentos vêm sendo inseridos no dia a dia das empresas e os sistemas de escala precisam adequá-los de maneira para que apresentem realmente lucro e não prejuízos.

### 3.3 Definição das Restrições

As restrições, como foram definidas anteriormente, dividem-se em operacionais e trabalhistas, e cada uma divide-se em obrigatórias e não obrigatórias. Por serem obrigatórias, elas não podem deixar de ser observadas, pois, caso contrário, inviabilizariam a escala de trabalho; e as não obrigatórias, se não observadas, gerariam uma escala de não tão boa qualidade.

No processo deste trabalho, considerou-se as seguintes restrições obrigatórias:

- Um tripulante não pode efetuar duas tarefas ao mesmo tempo.
- Podem ser acrescidas até duas horas extras no final da jornada diária de trabalho.

- O intervalo mínimo entre duas jornadas deverá ser de 1:00h.
- A duração máxima da jornada de trabalho com intervalo será de 8:00h.
- A duração máxima de uma jornada sem intervalo será de 4:00h.

No processo deste trabalho consideramos as seguintes restrições não obrigatórias :

- O número de tripulantes escalados deve ser mínimo.
- O número de horas paradas por tripulante deve ser minimizado.
- O número de vezes que o tripulante troca de veículo deve ser minimizado.
- Horas extras devem ser evitadas ao máximo.

As restrições não obrigatórias apenas definem as metas desejadas pela empresa, porém o não atendimento integral destas metas, não inviabiliza a programação gerada pelo sistema. O que normalmente ocorre é que quando a redução do número de horas extras é forçada, obrigatoriamente há um aumento no número de tripulantes e que, quando aumenta-se o número de viagens, aumenta-se também a troca de veículos por parte do tripulante. Então, faz-se necessária uma posição média em relação ao custo/benefício, ou seja, o menor custo com o maior benefício, independente do número de veículos rodando ou do número de horas extras efetuadas.

A maioria dos trabalhos sobre escala de tripulações e veículos que se encontra na literatura versa sobre a escala de tripulações para transporte urbano, alguns sobre escala de tripulações de trens e outros sobre escala de tripulações aéreas. A diferença entre as escalas de tripulações de ônibus urbanas e tripulações de ônibus intermunicipais, consiste nos vários pontos de partida das linhas existentes no transporte intermunicipal, ao passo que no transporte urbano todas as linhas partem de uma mesma garagem e todos os componentes da tripulação residem na cidade ou próximo a ela, possuindo facilidade de locomoção até a garagem.

Conforme mostra a figura 11, os trajetos realizados neste tipo de transporte são todos no interior da cidade, partindo e chegando ao mesmo local o dia todo, portanto qualquer tripulante que for escalado para qualquer um dos trajetos poderá executá-lo sem maiores problemas.

Como o tripulante mora na mesma cidade da garagem de partida da linha ou trajeto, ele poderá também em qualquer ponto do trajeto ter seu momento de descanso, pois continuará dentro de sua cidade e próximo a sua residência.

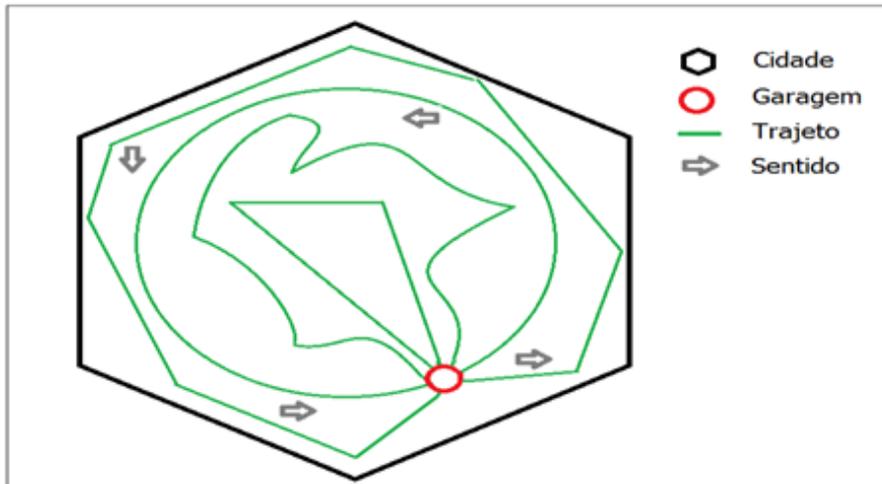


Figura 11 - Representação do sistema de transporte urbano.  
Fonte: Elaborado pelo autor.

Na escala de tripulantes para transporte intermunicipal, os vários pontos de partida conforme figura 12, localizam-se a muitos quilômetros de distância um do outro, gerando assim a necessidade de componentes das tripulações residindo nestas cidades, ou vindos de outras cidades em tempo para a partida da linha no horário.

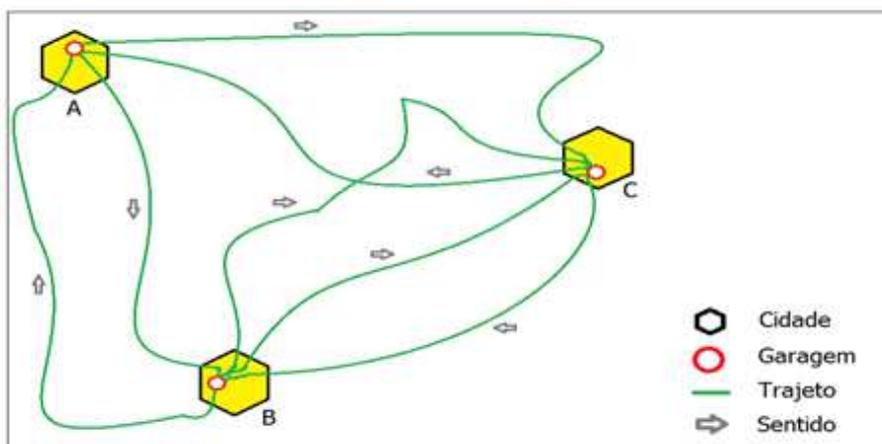


Figura 12 - Representação do sistema de transporte intermunicipal.  
Fonte: Elaborado pelo autor.

Como a escala de tripulantes é gerada ao mesmo tempo para todos os pontos de partida em que a empresa atue, o sistema necessita considerar todos os tripulantes aptos para o

trabalho para o dia no qual a escala está sendo gerada e, portanto, o sistema utilizando metaheurísticas poderia escalar um tripulante que reside na cidade “A” para uma linha que iniciasse às 6h da manhã na cidade “C”, distante mais de 100 km. Este tripulante teria que acordar no mínimo às 3h da manhã para que pudesse estar a tempo no local da partida, fato que geraria um custo e um desgaste muito grande, pois o tripulante no momento do início de sua primeira jornada já estaria a mais de 3h à disposição da empresa.

Portanto, a rotina que gera a escala para tripulações de transporte intermunicipal, não pode escalar qualquer tripulante aleatoriamente para linhas em locais e horários nos quais ele não terá condição de estar presente no momento da partida.

Como os trajetos diferem uns dos outros, os tripulantes a serem escalados precisam conhecer bem o trajeto a ser percorrido e, portanto, também não é permitido que seja escalado um tripulante que não conheça o caminho, tenha dúvidas ou pouca experiência, uma vez que a inexperiência afetaria a vida de cerca de 40 pessoas que teoricamente estarão viajando e confiando no profissional que dirige o veículo.

### **3.4 Estratégia para Solução do Problema**

Conforme (Huisman e Wagelmans, 2006), o problema de programação de tripulações intermunicipais é de natureza combinatória e cresce de maneira exponencial conforme o tamanho do problema. Neste estudo de caso, há em torno de 300 viagens diárias, onde foi utilizado o método exato para a programação do sistema de geração da escala. Posteriormente, utilizou-se um processo heurístico chamado Busca em Vizinhança Variável (VNS), para equacionar a escala das viagens de fretamentos. Como as soluções heurísticas fundamentam-se em alguma abordagem intuitiva, a estrutura do problema pode ser explorada inteligentemente para que se possa obter uma solução onde são considerados o esforço computacional e a qualidade da solução obtida (SILVER, 2004).

As metaheurísticas mais conhecidas e utilizadas são algoritmos genéticos, busca tabu, *simulated annealing*, busca em vizinhança de grande porte, *grasp*, busca em vizinhança variável, entre outras.

## **4. METODOLOGIA DE PESQUISA**

Este capítulo apresenta a metodologia utilizada neste trabalho, onde a seguir serão relatados os passos e procedimentos utilizados para a realização dos objetivos propostos.

### **4.1 Métodos de Pesquisa**

Segundo Santos (2000), “Procedimentos de coleta são métodos práticos utilizados para juntar as informações necessárias à construção dos raciocínios em torno de um fato/fenômeno/problema”. Dessa forma, a descrição das técnicas utilizadas, modelos de questionários, entrevistas e/ou observação dos processos constituem a caracterização da pesquisa segundo os procedimentos de coleta ou simplesmente a coleta de dados.

O levantamento de dados foi a primeira forma de obtenção de informações utilizada no estudo. Para isso, utilizou-se a técnica de entrevista e de levantamento de casos. Essa técnica buscou o conhecimento das pessoas envolvidas nos processos de elaboração da escala, suas funções, experiências, necessidades e sugestões. Como também, o conhecimento e a compreensão do funcionamento global do processo na Empresa, que possibilitou a montagem do fluxo do processo em uso naquele período, nesse estudo denominado fluxo inicial do processo, que constitui o estudo de caso desse trabalho. Ao todo, foram realizadas 10 (dez) entrevistas, aproximadamente 30 horas de trabalho. Essas entrevistas, fundamentais para aquisição dos dados iniciais, foram as primeiras documentações entre tantas outras reuniões realizadas durante todo o desenvolvimento da proposta desse trabalho, já que a obtenção do conhecimento funcional da Empresa caracteriza-se por um processo contínuo.

As entrevistas ocorreram na forma de reuniões com os técnicos (especialistas humanos) da empresa de transportes coletivo que explicavam o processo de funcionamento da geração da escala manual e os problemas decorrentes do processo. Os aspectos positivos e também os aspectos negativos foram sendo pouco a pouco compilados e transformados no conhecimento que deu origem ao fluxograma principal de operação do sistema ora desenvolvido.

O levantamento de casos objetivou a investigação do maior número possível de problemas no processo (casos relevantes) para formação da base de casos, definição de ações a serem tomadas e descrição das soluções sugeridas, tendo como base o conhecimento

especializado dos usuários do processo. Essa ação implicou e implicará em melhores condições para a compreensão de novos casos, assim como, melhores condições de avaliação e adaptação de novas soluções. À medida que os casos foram sendo levantados e/ou informados pelos especialistas, eles foram sendo catalogados e suas resoluções foram implementadas no fluxograma e no sistema.

Um exemplo prático de um caso é mostrado na figura 13 que apresenta a escala gerada para o funcionário MOT08. Ele é o único motorista morador da localidade chamada “Escola Vicente de Carvalho”. Então, a escala não pode alocar outro motorista para efetuar as viagens da linha 0004, porém, este funcionário pode ser alocado para efetuar outras viagens além das viagens da linha 0004.

<b>EXPRESSO SINIMBU LTDA</b>				10/12/2011 13:55:21					
Funcionário : <b>MOT08</b>				<b>Escala para o dia : 22/08/2011</b>					
<b>Linha</b>	<b>Tp</b>	<b>Origem</b>	<b>Destino</b>	<b>Pré</b>	<b>Partida</b>	<b>Chegada</b>	<b>Pós</b>	<b>Total</b>	
0004	L	ESCOLA VICENTE CARVALHO	SINIMBU	0015	0600	0710	0000	0085	
0004	L	SINIMBU	ESCOLA VICENTE CARVALHO	0000	1135	1245	0000	0070	
0004	L	ESCOLA VICENTE CARVALHO	SINIMBU	0000	1245	1345	0000	0060	
1858	L	SINIMBU	SANTA CRUZ DO SUL	0015	1600	1645	0000	0060	
1858	L	SANTA CRUZ DO SUL	SINIMBU	0000	1700	1745	0000	0045	
0004	L	SINIMBU	ESCOLA VICENTE CARVALHO	0000	1745	1845	0015	0075	
<b>Total de Viagens : 6</b>				<b>Total da Jornada em Minutos :</b>				<b>0395</b>	
				<b>Total da Jornada em Horas :</b>				<b>06,35</b>	

Figura 13 - Escala do funcionário MOT08.

Fonte: Elaborado pelo Autor.

De forma geral, considerando o envolvimento e interesse mútuo dos pesquisados no desenvolvimento desse estudo de caso e sua aplicação prática na Empresa, pode-se caracterizar essa coleta de dados como uma pesquisa-ação. Porque, ao mesmo tempo em que o pesquisador colhia as informações necessárias ao desenvolvimento do sistema, os funcionários responsáveis pela escala na empresa pesquisada, aprimoravam seus conhecimentos pela troca de informações entre si e já se imaginavam utilizando a nova ferramenta, mesmo antes de estar concluída. A expectativa criada pela pesquisa e pela idéia de ter uma ferramenta informatizada para gerar a escala em apenas alguns minutos motivou os funcionários de forma surpreendente.

A inexistência de documentos anteriores e dados comparativos impossibilitam a análise quantitativa dos resultados, partindo-se então para uma análise qualitativa que envolve o tratamento lógico dos dados feito pelo pesquisador e que, segundo Gil (2002), pode ser exemplificado pela análise do conteúdo e análise do discurso. A análise do conteúdo é

basicamente a análise dos dados colhidos pelo pesquisador durante as entrevistas e as suas percepções próprias durante este processo. Já a análise do discurso é basicamente a análise das percepções e expectativas dos pesquisados, bem como a análise de suas experiências anteriores.

A pesquisa também é exploratória, pois envolveu levantamento bibliográfico, para compreensão do tema do trabalho, e de trabalhos relacionados.

## **4.2 Síntese dos procedimentos Metodológicos**

A seguir, apresenta-se uma síntese do passo a passo do que foi realizado para o desenvolvimento dessa pesquisa. Para a sua execução, foram realizados os seguintes procedimentos metodológicos:

- Pesquisa bibliográfica e exploratória sobre os assuntos da pesquisa.
- Entrevistas, com o gestor/tomador de decisão da empresa e funcionários do setor *Operacional*, para levantamento inicial de dados a serem coletados e analisados.
- Coleta de dados para posterior estruturação na tomada de decisões.
- Reuniões com a diretoria da empresa, a fim de repassar andamento do projeto, bem como definir prioridades.
- Estruturação da base de dados e atributos envolvidos no processo de desenvolvimento da solução.
- Criação do conjunto de regras e codificação em linguagem de programação.
- Finalização e apresentação do sistema, evidenciando sua aplicabilidade na empresa.

## 5. DESCRIÇÃO DO SISTEMA DESENVOLVIDO

O sistema de escala desenvolvido, chamado SYSBUS, utilizou inicialmente técnicas clássicas de programação, em virtude de apresentarem a característica de encontrar uma solução para o problema e serem eficientes em sistemas de pequeno e médio porte. Porém, para sistemas de grande porte, estas técnicas apresentam um esforço computacional grande.

Devido à necessidade de se atingir uma solução ótima para um sistema de grande porte, utilizou-se a metaheurística VNS para complementar a geração da escala no que tange às viagens de fretamento.

O Sistema foi desenvolvido em linguagem DELPHI com a ferramenta *Embarcadero RAD Studio XE* (<http://www.embarcadero.com/products/rad-studio>), em virtude do desempenho da linguagem e a disponibilidade de recursos que a ferramenta apresenta. Na figura 14 temos a tela principal do sistema SYSBUS.



Figura 14 - Tela Principal do Sistema SYSBUS

Fonte : Elaborado pelo Autor.

O funcionamento do sistema pode ser descrito em cinco etapas, a seguir descritas:

1. *Criar Estrutura de Dados*: O usuário cadastra as informações referentes às linhas, horários de cada viagem, motoristas, veículos e demais informações que se fazem necessárias para que o sistema possa gerar a escala adequadamente.

2. *Configurar a Estrutura de Dados*: O usuário escolhe a data e o dia da semana para o qual será gerada a escala.
3. *Executar MONTA\_ESCALA*: O usuário executa o procedimento, gerando a escala geral onde estão inclusas todas as linhas normais, linhas extras e fretamentos.
4. *Executar APLICA\_VNS*: O usuário executa o procedimento que se apropria da escala gerada, reconhecendo as jornadas com problemas e utilizando-se da metaheurística VNS. O VNS corrige estas mesmas jornadas, atribuindo as viagens de fretamento a outros motoristas disponíveis ou criando novas jornadas.
5. *Publicar Escala*: O usuário responsável pela escala emite os relatórios necessários para que a escala gerada seja distribuída aos motoristas e que todos os funcionários diretamente e indiretamente envolvidos tomem conhecimento dela.

### **5.1 Descrição do Sistema Específico de Ajuste dos Fretamentos**

O Sistema VNS que ajusta as viagens de fretamento nas jornadas aproveita as jornadas geradas pelo sistema de escalas e verifica primeiramente quais jornadas ultrapassam o tempo máximo de 480 minutos diários. Caso o sistema encontre alguma jornada que apresente tempo acima de 480 minutos, ele as separa para o processamento individual posterior. No próximo momento, o sistema identifica se nesta jornada separada existem viagens de fretamento e se a remoção dela representará uma melhoria no tempo da jornada. Caso ocorra uma melhoria, o sistema salva a jornada removendo o fretamento e inicia o processo de busca na vizinhança das jornadas geradas pela escala, para identificar uma jornada que possua tempo total inferior aos 480 minutos e, que ao somar-se à viagem de fretamento removida, também não ultrapasse os 480 minutos. Caso encontre uma jornada nestas condições, o sistema acrescenta a viagem de fretamento a esta jornada e parte para a próxima jornada separada. Caso não encontre jornada que possa absorver esta viagem de fretamento, o sistema obriga-se a criar uma nova jornada e buscar um motorista disponível para realizá-la. Existe a possibilidade de manter a viagem de fretamento na jornada inicial não se obtendo melhorias na jornada. Esta atitude às vezes pode ser necessária, pois as horas extras geradas pela viagem de fretamento seriam aceitáveis comparadas aos custos de contratação e treinamento de um novo funcionário. Esta

decisão é tomada pelo administrador do sistema de escalas baseado nas regras internas da empresa.

O Sistema processa todas as jornadas separadas, corrigindo as distorções e gerando uma nova escala, retornando novamente ao início do processo; revisa todas as jornadas para verificar se estão de acordo com as regras. Caso ainda encontre jornadas que possam ser melhoradas, repete-se o processo. Caso o processo seja repetido por três vezes e nenhuma melhoria seja encontrada, então o processo é encerrado. Este número de repetições é definido por regras internas da empresa.

## **5.2 Descrição dos Testes Efetuados**

Como o número de viagens diárias da empresa é em torno de 270, utilizou-se nos testes apenas uma parcela destas viagens, aproximadamente 15%, que apresentam todos os casos e variantes que são possíveis de encontrar diariamente nas demais viagens. Em períodos diferentes do ano, o número de viagens tende a variar, pois os fretamentos são muito utilizados em períodos de safra e tendem a diminuir nas entre safras, assim como as linhas variam em função do período escolar e do período de férias, quando há menor deslocamento de alunos.

Na figura 15, apresenta-se a descrição das linhas que foram utilizadas nos testes. Pode-se visualizar o número da linha, os horários de início das viagens, bem como sua origem, destino, duração da viagem, distância em Km e frequência.

A frequência em que ocorre a viagem é representada por um número entre 1 e 8. Este número representa os dias da semana, iniciando pelo domingo com o número 1, 2 para segunda-feira e seguindo-se até o número 8 que representa dia de feriado, ou seja, esta viagem ocorre também nos dias de feriado.

O campo Ordem de Serviço representa o número da ordem de serviço expedida pelo DAER (Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem) para criar a linha e autorizar a sua exploração e funcionamento.

O sentido da linha representado por um número entre 1 e 2, dispõem sobre como a linha opera de qual localidade para qual localidade (1 da localidade mais populosa à menos populosa e 2 da localidade menos populosa à mais populosa).

Cadastro de Linhas										
Cadastro    Pesquisar    Listagem										
Linha	Hor	St	Mod	Origem	Destino	VIA	Duração	Km	Frequencia	Ordem Serviço
4	600	2	M	ESCOLA VICENTE CARVALHO	SINIMBU	RIO PEQUENO	01:10	28	23456	002/05
4	1135	1	M	SINIMBU	ESCOLA VICENTE CARVALHO	RIO PEQUENO	01:10	28	23456	002/05
4	1245	2	M	ESCOLA VICENTE CARVALHO	SINIMBU	RIO PEQUENO	01:00	28	23456	002/05
4	1745	1	C	SINIMBU	ESCOLA VICENTE CARVALHO	RIO PEQUENO	01:00	28	23456	008/08
1858	545	2	C	SINIMBU	SANTA CRUZ DO SUL	RIO PARDINHO	00:45	29	23456	365/1995
1858	645	2	C	SINIMBU	SANTA CRUZ DO SUL	RIO PARDINHO	00:45	29	7	304/10
1858	700	1	C	SANTA CRUZ DO SUL	SINIMBU	RIO PARDINHO	00:45	29	23456	304/10
1858	815	1	C	SANTA CRUZ DO SUL	SINIMBU	RIO PARDINHO	00:45	29	23456	81/1996
1858	1000	1	C	SANTA CRUZ DO SUL	SINIMBU	RIO PARDINHO	00:45	29	12345678	455/1999
1858	1100	1	C	SANTA CRUZ DO SUL	SINIMBU	RIO PARDINHO	00:45	29	7	304/10
1858	1130	2	C	SINIMBU	SANTA CRUZ DO SUL	RIO PARDINHO	00:45	29	23456	124/2004
1858	1200	1	C	SANTA CRUZ DO SUL	SINIMBU	RIO PARDINHO	00:45	29	23456	148/2000
1858	1300	2	C	SINIMBU	SANTA CRUZ DO SUL	RIO PARDINHO	00:45	29	13	304/10
1858	1430	2	C	SINIMBU	SANTA CRUZ DO SUL	RIO PARDINHO	00:45	29	23456	301/2000
1858	1500	2	C	SINIMBU	SANTA CRUZ DO SUL	RIO PARDINHO	00:45	29	7	304/10
1858	1530	1	C	SANTA CRUZ DO SUL	SINIMBU	RIO PARDINHO	00:45	29	3	001/10
1858	1600	2	C	SINIMBU	SANTA CRUZ DO SUL	RIO PARDINHO	00:45	29	23456	301/2000
1858	1700	1	C	SANTA CRUZ DO SUL	SINIMBU	RIO PARDINHO	00:45	29	23456	41/2011
1858	1730	1	C	SANTA CRUZ DO SUL	SINIMBU	RIO PARDINHO	00:45	29	23456	318/07
1858	1755	1	C	SANTA CRUZ DO SUL	SINIMBU	RIO PARDINHO	00:45	29	23456	318/07
1858	1800	2	C	SINIMBU	SANTA CRUZ DO SUL	RIO PARDINHO	01:00	29	23456	161/09
1858	1900	1	C	SANTA CRUZ DO SUL	SINIMBU	RIO PARDINHO	00:45	29	1234567	365/1995
1858	2045	1	C	SANTA CRUZ DO SUL	SINIMBU	RIO PARDINHO	00:45	29	23456	307/06
1858	2210	1	C	SANTA CRUZ DO SUL	SINIMBU	RIO PARDINHO	00:45	29	23456	753/10
2418	610	2	C	ESCOLA TRAVESSA	SINIMBU	LINHA SETE DE SETEMBRO	01:15	28	23456	509/2000
2418	1120	1	C	SINIMBU	ESCOLA TRAVESSA	LINHA SETE DE SETEMBRO	01:15	28	23456	509/2000
2418	1150	2	C	ESCOLA TRAVESSA	SINIMBU	LINHA SETE DE SETEMBRO	01:15	28	23456	509/2000
2418	1700	1	C	SINIMBU	ESCOLA TRAVESSA	LINHA SETE DE SETEMBRO	01:15	28	23456	509/2000
5041	740	1	C	SANTA CRUZ DO SUL	PROGRESSO	BOQUEIRÃO DO LEÃO	03:25	90	137	497/08
5041	1030	2	C	PROGRESSO	SANTA CRUZ DO SUL	BOQUEIRÃO DO LEÃO	03:30	90	23456	131/2006
5041	1045	1	C	SANTA CRUZ DO SUL	PROGRESSO	BOQUEIRÃO DO LEÃO	03:30	90	23456	270/2006
5041	1615	2	C	PROGRESSO	SANTA CRUZ DO SUL	BOQUEIRÃO DO LEÃO	03:25	90	23456	131/2006
5041	1635	1	C	SANTA CRUZ DO SUL	PROGRESSO	BOQUEIRÃO DO LEÃO	03:15	90	23456	103/09
5041	1645	2	C	PROGRESSO	SANTA CRUZ DO SUL	BOQUEIRÃO DO LEÃO	03:00	90	137	405/2006

Figura 15 - Cadastro de linhas normais.

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Na figura 16, apresenta-se a descrição das linhas extras que foram utilizadas nos testes. Pode-se visualizar o número da linha extra, o horário de início das viagens, bem como sua origem, destino, duração, distância em Km e frequência. A frequência representada por um número entre 1 e 8 que representa os dias da semana, iniciando pelo domingo com o número 1 e o número 8 representa dia de feriado, ou seja, esta viagem ocorre também nos dias de feriado.

O sentido da linha representado por um numero entre 1 e 2, dispõem sobre como a linha opera de qual localidade para qual localidade (1 da localidade mais populosa à menos populosa e 2 da localidade menos populosa à mais populosa).

Linha	Horário	Origem	Destino	Duração	Distância	Frequência	Ord. Serviço	Sentido	Modalidade
1966	1130	SINIMBU	CERRO DA MULA	00:45	23	23456	001/11	1	C
1966	1215	CERRO DA MULA	SINIMBU	00:45	23	23456	001/11	2	C
2418	615	SANTA CRUZ DO SUL	LINHA SETE DE SETEMBRO	00:15	10	23456	001/10	1	C
2418	630	LINHA SETE DE SETEMBRO	RIO PARDINHO	01:10	33	23456	001/10	2	C
2418	1150	RIO PARDINHO	LINHA SETE DE SETEMBRO	00:40	42	23456	001/10	1	C
2418	1230	LINHA SETE DE SETEMBRO	RIO PARDINHO	00:40	42	12345678	001/10	1	C
2418	1715	RIO PARDINHO	SANTA CRUZ DO SUL	01:45	43	23456	001/10	1	C
5041	1500	PROGRESSO	SINIMBU	00:40	45	12345678	001/11	1	C

Figura 16 - Cadastro de linhas extras.

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Na figura 17, apresenta-se a descrição das linhas de fretamentos que foram utilizadas nos testes. Pode-se visualizar o número da linha de fretamento, o horário de início das viagens bem como sua origem, destino, duração, frequência, pré-jornada, pós-jornada e estado. O campo pré-jornada, assim como pós-jornada, refere-se ao período necessário ao motorista para a preparação do veículo antes de iniciar a viagem e após o término da viagem, e o campo estado representa a situação da viagem, ativa (0), ou seja, ocorre normalmente, ou inativa (1) quando não ocorre.

Cód. Linha	Hr. Linha	Origem	Destino	Duração	Frequencia	Pré-Jornada	Pós-Jornada	Estado
1	630	ENTRADA PRIMAVERA	EMPRESA 01	60	23456	15	15	0
2	1718	EMPRESA 01	ENTRADA PRIMAVERA	60	23456	15	0	0
3	540	SÃO JOÃO	EMPRESA 01	50	23456	25	10	0
5	530	RIO PEQUENO	EMPRESA 01	60	23456	25	10	0
6	540	ALTO SINIMBU	EMPRESA 01	60	23456	20	10	0
8	1648	EMPRESA 01	SÃO JOÃO	50	23456	15	15	0
10	1648	EMPRESA 01	RIO PEQUENO	60	23456	15	5	0
11	1648	EMPRESA 01	ALTO SINIMBU	60	23456	15	5	0
12	1845	RIO PEQUENO	SANTA CRUZ DO SUL (EMPRESA 02)	60	23456	0	0	0
13	1650	RIO PEQUENO	SANTA CRUZ DO SUL (EMPRESA 02)	60	23456	0	0	0
14	1620	RIO PEQUENO	SANTA CRUZ DO SUL (EMPRESA 02)	60	23456	0	0	0
15	515	RIO PEQUENO	SANTA CRUZ DO SUL (EMPRESA 02)	90	2345678	15	0	0

Figura 17 - Cadastro de linhas de fretamento.

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Na figura 18, apresenta-se o cadastro de motoristas que fizeram parte dos testes que foram efetuados na empresa. Pode-se visualizar o código do motorista, o nome, os telefones, a localidade onde é sua sede, o cargo e o *status* do funcionário. O campo *status* refere-se à situação sob a qual o motorista se apresenta, Ativo ou Inativo.

Código	Nome	Fone Cel	Fone Res	Localidade	Cargo	Status
128	MOT01	(051)9999-9999	(051)3333-3333	PROGRESSO	MOTORISTA DE ÔNIBU:	Ativo
9	MOT02	(51)9999-9999	(51)3333-3333	SINIMBU	MOTORISTA DE ÔNIBU:	Ativo
19	MOT03	(051)9999-9999	(051)3333-3333	SINIMBU	MOTORISTA DE ÔNIBU:	Ativo
127	MOT04	(051)9999-9999	(051)3333-3333	SANTA CRUZ DO SUL	MOTORISTA DE ÔNIBU:	Ativo
189	MOT05	(051)9999-9999	(051)3333-3333	SINIMBU	MOTORISTA DE ÔNIBU:	Ativo
25	MOT06	(051)9999-9999	(051)3333-3333	SINIMBU	MOTORISTA DE ÔNIBU:	Ativo
4	MOT07	(051)9999-9999	(051)3333-3333	PROGRESSO	MOTORISTA DE ÔNIBU:	Ativo
176	MOT08	(051)9999-9999	(051)3333-3333	BOQUEIRÃO DO LEÃO	MOTORISTA DE ÔNIBU:	Ativo
38	MOT09	(051)9999-9999	(051)3333-3333	SANTA CRUZ DO SUL	MOTORISTA DE ÔNIBU:	Ativo
257	MOT10	(051)9999-9999	(051)3333-3333	SINIMBU	MOTORISTA DE ÔNIBU:	Ativo
56	MOT11	(051)9999-9999	(051)3333-3333	SINIMBU	MOTORISTA DE ÔNIBU:	Ativo
69	MOT12	(051)9999-9999	(051)3333-3333	SINIMBU	MOTORISTA DE ÔNIBU:	Ativo
207	MOT13	(051)9999-9999	(051)3333-3333	SANTA CRUZ DO SUL	MOTORISTA DE ÔNIBU:	Ativo

Figura 18 - Cadastro de funcionários filtrado pelo cargo de motoristas.  
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Na figura 19, apresenta-se a tela de geração da escala, onde é possível observar a data da escala a ser gerada, o dia da semana, o código da linha específica, o horário específico e a restrição de 480 minutos diários. Como a geração da escala é total, não há especificação de linha nem horário específicos. Estes respectivos campos permanecem com seus valores zerados. Portanto, todas as linhas e todos os horários são considerados.

Monta Escala

Data : 22/08/2011    Dia da Semana : 2 [1,2,3,4,5,6,7,8]

Linha : 0    Horário : 0

Restrição à 480 min

Gerar    Cancelar

Figura 19 - Tela de montagem diária da escala.  
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Na figura 20, apresenta-se a publicação da escala gerada. Esta escala gerou 42 viagens a serem feitas e distribuiu os motoristas de acordo com o local de partida das viagens, em relação à sede de cada motorista no início da jornada. Da esquerda para a direita, pode-se ver o número da linha, o horário de partida, o sentido da linha (1 da localidade mais populosa para a menos populosa e 2 da cidade menos populosa à mais populosa), o dia da semana (2, segunda-feira) a localidade de origem da viagem, a localidade de destino, o nome do motorista que irá executar a viagem, o tempo em minutos da pré-jornada, o horário efetivo da

partida, o horário previsto para a chegada ao destino, o tempo em minutos da pós-jornada e finalmente o tempo total da jornada em minutos.

Listagem de Escalas					EXPRESSO SINIMBU LTDA			10/12/2011 14:16:39			
Linha	Horário	St	Ds	Origem	Destino	Funcionário	Pré Min	Partida Hr	Chegada Hr	Pós Min	Jornada Min
15	0515 F	1	2	PROGRESSO	PROGRESSO	MOT01	0015	0515	0645	0000	0105
5	0530 F	1	2	SINIMBU	SANTA CRUZ DO SUL	MOT02	0025	0530	0630	0010	0095
3	0540 F	1	2	SINIMBU	SANTA CRUZ DO SUL	MOT03	0025	0540	0630	0010	0085
6	0540 F	1	2	SINIMBU	SANTA CRUZ DO SUL	MOT05	0020	0540	0640	0010	0090
1858	0545 L	2	2	SINIMBU	SANTA CRUZ DO SUL	MOT08	0015	0545	0630	0000	0080
4	0600 L	2	2	ESCOLA VICENTE CARVALHO	SINIMBU	MOT08	0015	0600	0710	0000	0085
2418	0615 E	1	2	SANTA CRUZ DO SUL	LINHA SETE DE SETEMBRO	MOT04	0000	0615	0630	0000	0015
1	0630 F	1	2	SINIMBU	SANTA CRUZ DO SUL	MOT10	0015	0630	0730	0015	0090
2418	0630 E	2	2	LINHA SETE DE SETEMBRO	RIO PARDINHO	MOT04	0000	0630	0740	0000	0070
1858	0700 L	1	2	SANTA CRUZ DO SUL	SINIMBU	MOT06	0000	0700	0745	0015	0080
1858	0815 L	1	2	SANTA CRUZ DO SUL	SINIMBU	MOT02	0000	0815	0900	0015	0080
1858	1000 L	1	2	SANTA CRUZ DO SUL	SINIMBU	MOT03	0000	1000	1045	0000	0045
5041	1030 L	2	2	PROGRESSO	SANTA CRUZ DO SUL	MOT01	0015	1030	1400	0000	0225
5041	1045 L	1	2	SANTA CRUZ DO SUL	PROGRESSO	MOT05	0000	1045	1415	0015	0225
1858	1130 L	2	2	SINIMBU	SANTA CRUZ DO SUL	MOT08	0000	1130	1215	0015	0060
1906	1130 E	1	2	SINIMBU	CERRO DA MULA	MOT02	0000	1130	1215	0000	0045
4	1135 L	1	2	SINIMBU	ESCOLA VICENTE CARVALHO	MOT08	0000	1135	1245	0000	0070
2418	1150 E	1	2	RIO PARDINHO	LINHA SETE DE SETEMBRO	MOT04	0000	1150	1230	0000	0040
1858	1200 L	1	2	SANTA CRUZ DO SUL	SINIMBU	MOT10	0000	1200	1245	0015	0060
1906	1215 E	2	2	CERRO DA MULA	SINIMBU	MOT02	0000	1215	1300	0000	0045
2418	1230 E	1	2	LINHA SETE DE SETEMBRO	RIO PARDINHO	MOT04	0000	1230	1310	0000	0040
4	1245 L	2	2	ESCOLA VICENTE CARVALHO	SINIMBU	MOT08	0000	1245	1345	0000	0060
1858	1430 L	2	2	SINIMBU	SANTA CRUZ DO SUL	MOT03	0015	1430	1515	0000	0080
1858	1600 L	2	2	SINIMBU	SANTA CRUZ DO SUL	MOT08	0015	1600	1645	0000	0060
5041	1615 L	2	2	PROGRESSO	SANTA CRUZ DO SUL	MOT05	0000	1615	1939	0000	0204
14	1620 F	1	2	SINIMBU	SANTA CRUZ DO SUL	MOT02	0000	1620	1720	0000	0060
5041	1635 L	1	2	SANTA CRUZ DO SUL	PROGRESSO	MOT01	0005	1635	1950	0015	0215
8	1648 F	1	2	SANTA CRUZ DO SUL	SINIMBU	MOT06	0015	1648	1738	0015	0080
10	1648 F	1	2	SANTA CRUZ DO SUL	SINIMBU	MOT03	0015	1648	1748	0005	0080
11	1648 F	1	2	SANTA CRUZ DO SUL	SINIMBU	MOT09	0015	1648	1748	0005	0080
13	1650 F	1	2	SINIMBU	SANTA CRUZ DO SUL	MOT10	0000	1650	1750	0000	0060
1858	1700 L	1	2	SANTA CRUZ DO SUL	SINIMBU	MOT08	0000	1700	1745	0000	0045
2418	1715 E	1	2	RIO PARDINHO	SANTA CRUZ DO SUL	MOT04	0000	1715	1900	0000	0105
2	1718 F	1	2	SANTA CRUZ DO SUL	SINIMBU	MOT13	0015	1718	1818	0000	0075
1858	1730 L	1	2	SANTA CRUZ DO SUL	SINIMBU	MOT02	0000	1730	1814	0000	0044
4	1745 L	1	2	SINIMBU	ESCOLA VICENTE CARVALHO	MOT08	0000	1745	1845	0015	0075
1858	1755 L	1	2	SANTA CRUZ DO SUL	SINIMBU	MOT10	0010	1755	1839	0005	0059
1858	1800 L	2	2	SINIMBU	SANTA CRUZ DO SUL	MOT09	0000	1800	1900	0000	0060
12	1845 F	1	2	SINIMBU	SANTA CRUZ DO SUL	MOT13	0000	1845	1945	0000	0060
1858	1900 L	1	2	SANTA CRUZ DO SUL	SINIMBU	MOT04	0000	1900	1945	0000	0045
1858	2045 L	1	2	SANTA CRUZ DO SUL	SINIMBU	MOT05	0015	2045	2130	0000	0060
1858	2210 L	1	2	SANTA CRUZ DO SUL	SINIMBU	MOT09	0010	2210	2255	0015	0070

Total de Lançamentos: 042

Figura 20 - Publicação da escala inicial gerada.  
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Na figura 21, pode-se observar a mesma publicação da escala, porém de uma forma mais visual. As viagens são agrupadas por motorista e na sequência em que elas acontecem, gerando assim uma coluna horizontal para cada motorista. As viagens são separadas por tipos com diferentes cores onde há os fretamentos representados pela cor amarela, as linhas normais representadas pela cor azul e as linhas extras representadas pela cor vermelha. Nesta escala ainda não foi aplicado o VNS e, portanto, apresenta um resultado com sobrecarga para alguns motoristas. As viagens de fretamento são atribuídas aos motoristas que estiverem no local de partida das mesmas e são atribuídas na ordem cronológica de tempo em que elas acontecem sem se preocupar se este motorista já tem sua carga horária completa ou não. É gerada uma linha ou coluna horizontal para cada motorista onde se pode ver as 24 horas do dia e nas cores pertinentes são apresentadas as diversas viagens. Gráficamente pode-se ver

com mais clareza os intervalos entre uma ou mais viagens, além do início e término de cada viagem e também o somatório de todas as viagens de cada funcionário em horas e minutos.

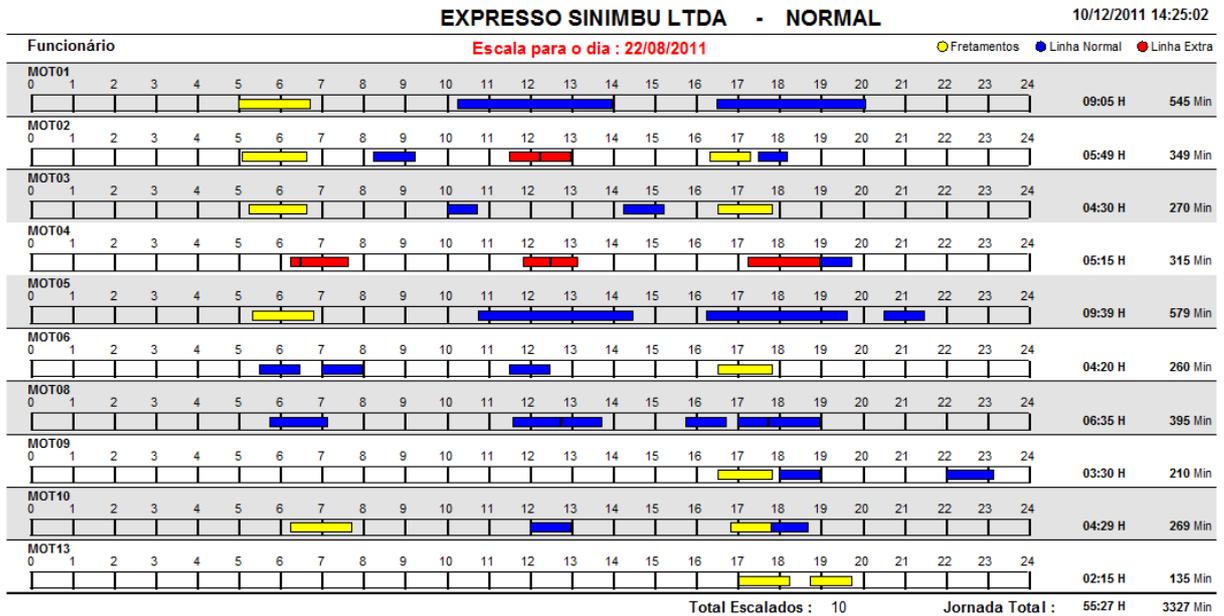


Figura 21 - Publicação da escala inicial consolidada por motorista.

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Na figura 22, apresenta-se o relatório de ociosidade diária de motoristas, onde é possível observar o nome de todos os motoristas disponíveis, a sua localidade sede, o tempo disponível, o tempo trabalhado e o tempo ocioso em minutos. Estas informações são retiradas da escala gerada pelo sistema e onde ainda não foi aplicada a rotina contendo a metaheurística VNS para a correção dos fretamentos e diminuição das horas extras pagas. Como se pode observar nos casos dos motoristas Mot01 e Mot06 que estão efetuando 65 minutos e 99 minutos de horas extras respectivamente, ou seja ultrapassam os 480 minutos diários.

Também se pode observar que os motoristas Mot07, Mot11 e Mot12 não trabalharam nem um minuto e, portanto, estão recebendo 480 minutos diários sem produção alguma.

Contando que está se pagando 164 minutos com sobre taxa de 50% em função de serem horas extras, tem-se, então, 246 minutos pagos para motoristas sobrecarregados. Há, no entanto, três motoristas cuja participação no dia será nula e, portanto, somados seus minutos, tem-se 1440 minutos sem produção alguma.

É possível observar também na figura 22 que há 3077 minutos ociosos, com os 13 motoristas disponíveis, número este que deverá ser reduzido através da aplicação do VNS.

## EXPRESSO SINIMBU LTDA

10/12/2011 14:30:13

## Escala para o dia : 22/08/2011

Funcionário	Loc. Sede	Disponível min	Jornada min	Ocioso min	
MOT01	PROGRESSO	0480	0545	0000	
MOT02	SINIMBU	0480	0349	0131	
MOT03	SINIMBU	0480	0270	0210	
MOT04	SANTA CRUZ DO SUL	0480	0315	0165	
MOT05	SINIMBU	0480	0579	0000	
MOT06	SINIMBU	0480	0260	0220	
MOT07	PROGRESSO	0480	0000	0480	
MOT08	ESCOLA VICENTE CARVALHO	0480	0395	0085	
MOT09	SANTA CRUZ DO SUL	0480	0210	0270	
MOT10	SINIMBU	0480	0269	0211	
MOT11	SINIMBU	0480	0000	0480	
MOT12	SINIMBU	0480	0000	0480	
MOT13	SANTA CRUZ DO SUL	0480	0135	0345	
<b>Total de Lançamentos : 13</b>		<b>Total em Minutos :</b>	6240	3327	3077

Figura 22 - Relatório de ociosidade diária.

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Procedeu-se, então, a aplicação da rotina de VNS na tentativa de conseguir melhoramentos na escala gerada.

Na figura 23, apresenta-se a tela de aplicação do VNS, onde é possível observar a data da escala gerada sobre a qual deverá ser aplicada a técnica na tentativa de melhora e o dia da semana a qual a escala se refere.

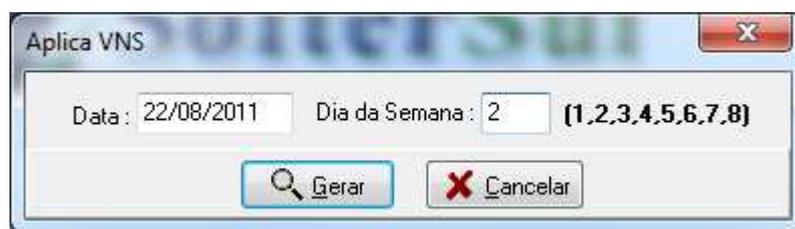


Figura 23 - Tela de aplicação da heurística VNS.

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Na figura 24, apresenta-se a publicação da nova escala gerada pela rotina VNS. Da esquerda para a direita, pode-se ver o número da linha, o horário de partida, o sentido da linha (1 da localidade mais populosa para a menos populosa e 2 da cidade menos populosa à mais populosa), o dia da semana (2, segunda-feira), a localidade de origem da viagem, a localidade de destino, o nome do motorista que irá executar a viagem, o tempo em minutos da pré-

jornada, o horário efetivo da partida, o horário previsto para a chegada ao destino, o tempo em minutos da pós-jornada e finalmente o tempo total da jornada em minutos. Pode-se observar que as 42 viagens permanecem inalteradas em seus horários, origens e destinos, porém os motoristas que as realizarão foram remanejados.

O VNS redistribuiu os motoristas de acordo com o local de partida das viagens em relação à sede de cada motorista para a primeira viagem do dia. Porém, removeu o fretamento dos dois motoristas sobrecarregados e atribuiu estas tarefas aos motoristas ociosos Mot07 e Mot11. Na Figura 20, o primeiro fretamento às 05h15min fora agendado ao motorista Mot01 que, ao final de sua jornada, conforme mostra a Figura 21, terá 545 minutos a serem cumpridos. Já após a aplicação do VNS esta mesma viagem, conforme mostra a Figura 24, foi atribuída ao motorista Mot07, reduzindo assim a jornada do motorista Mot01 em 105 minutos e o mantendo com 440 minutos, conforme mostra a Figura 25. Pode-se também observar que, conforme mostra a Figura 20, na quarta linha há a viagem de fretamento de 90 minutos atribuída ao motorista Mot05 que no final do dia terá, conforme mostra a figura 21, um total de 579 minutos de jornada total. Conforme mostra a Figura 24, após o VNS ser aplicado, esta viagem foi atribuída ao motorista ocioso Mot11, reduzindo a jornada do Mot05 para 489 minutos, conforme mostra a figura 25.

Pode-se notar que o número de viagens não foi modificado, pois as viagens estão na escala das linhas e precisam ser efetuadas, porém a melhor distribuição das mesmas, possibilitou uma melhor adequação entre os motoristas e causou lhes um maior conforto ao reduzir a jornada de trabalho. A redução do número de horas trabalhadas para um número mais adequado beneficiou diretamente os funcionários em virtude da redução considerável do estresse das repetidas viagens, beneficiou a empresa em virtude da redução e adequação do pagamento de horas extras e beneficiou também os passageiros em virtude da certeza de serem conduzidos por um profissional emocionalmente mais estável e equilibrado.

Listagem de Escalas com VNS Data : 12/12/2011				EXPRESSO SINIMBU LTDA			12/12/2011 12:38:28				
Linha	Horário	St	Ds	Origem	Destino	Funcionário	Pré Min	Partida Hr	Chegada Hr	Pós Min	Jornada Min
15	515 F	1	2	PROGRESSO	PROGRESSO	MDT07	15	515	645	0	105
5	530 F	1	2	SINIMBU	SANTA CRUZ DO SUL	MDT02	25	530	630	10	95
3	540 F	1	2	SINIMBU	SANTA CRUZ DO SUL	MDT03	25	540	630	10	85
6	540 F	1	2	SINIMBU	SANTA CRUZ DO SUL	MDT11	20	540	640	10	90
1858	545 L	2	2	SINIMBU	SANTA CRUZ DO SUL	MDT06	15	545	630	0	60
4	600 L	2	2	ESCOLA VICENTE CARVALHO	SINIMBU	MDT08	15	600	710	0	85
2418	615 E	1	2	SANTA CRUZ DO SUL	LINHA SETE DE SETEMBRO	MDT04	0	615	630	0	15
1	630 F	1	2	SINIMBU	SANTA CRUZ DO SUL	MDT10	15	630	730	15	90
2418	630 E	2	2	LINHA SETE DE SETEMBRO	RIO PARDINHO	MDT04	0	630	740	0	70
1858	700 L	1	2	SANTA CRUZ DO SUL	SINIMBU	MDT06	0	700	745	15	60
1858	815 L	1	2	SANTA CRUZ DO SUL	SINIMBU	MDT02	0	815	900	15	60
1858	1000 L	1	2	SANTA CRUZ DO SUL	SINIMBU	MDT03	0	1000	1045	0	45
5041	1030 L	2	2	PROGRESSO	SANTA CRUZ DO SUL	MDT01	15	1030	1400	0	225
5041	1045 L	1	2	SANTA CRUZ DO SUL	PROGRESSO	MDT05	0	1045	1415	15	225
1858	1130 L	2	2	SINIMBU	SANTA CRUZ DO SUL	MDT06	0	1130	1215	15	60
1906	1130 E	1	2	SINIMBU	CERRO DA MULA	MDT02	0	1130	1215	0	45
4	1135 L	1	2	SINIMBU	ESCOLA VICENTE CARVALHO	MDT08	0	1135	1245	0	70
2418	1150 E	1	2	RIO PARDINHO	LINHA SETE DE SETEMBRO	MDT04	0	1150	1230	0	40
1858	1200 L	1	2	SANTA CRUZ DO SUL	SINIMBU	MDT10	0	1200	1245	15	60
1906	1215 E	2	2	CERRO DA MULA	SINIMBU	MDT02	0	1215	1300	0	45
2418	1230 E	1	2	LINHA SETE DE SETEMBRO	RIO PARDINHO	MDT04	0	1230	1310	0	40
4	1245 L	2	2	ESCOLA VICENTE CARVALHO	SINIMBU	MDT08	0	1245	1345	0	60
1808	1430 L	2	2	SINIMBU	SANTA CRUZ DO SUL	MDT03	15	1430	1515	0	00
1858	1600 L	2	2	SINIMBU	SANTA CRUZ DO SUL	MDT08	15	1600	1645	0	60
5041	1615 L	2	2	PROGRESSO	SANTA CRUZ DO SUL	MDT05	0	1615	1939	0	204
14	1620 F	1	2	SINIMBU	SANTA CRUZ DO SUL	MDT02	0	1620	1720	0	60
5041	1635 L	1	2	SANTA CRUZ DO SUL	PROGRESSO	MDT01	5	1635	1960	15	215
8	1648 F	1	2	SANTA CRUZ DO SUL	SINIMBU	MDT06	15	1648	1738	15	80
10	1648 F	1	2	SANTA CRUZ DO SUL	SINIMBU	MDT03	15	1648	1748	5	80
11	1648 F	1	2	SANTA CRUZ DO SUL	SINIMBU	MDT09	15	1648	1748	5	80
13	1650 F	1	2	SINIMBU	SANTA CRUZ DO SUL	MDT10	0	1650	1750	0	60
1858	1700 L	1	2	SANTA CRUZ DO SUL	SINIMBU	MDT08	0	1700	1745	0	45
2418	1715 E	1	2	RIO PARDINHO	SANTA CRUZ DO SUL	MDT04	0	1715	1900	0	105
2	1718 F	1	2	SANTA CRUZ DO SUL	SINIMBU	MDT13	15	1718	1818	0	75
1858	1730 L	1	2	SANTA CRUZ DO SUL	SINIMBU	MDT02	0	1730	1814	0	44
4	1745 L	1	2	SINIMBU	ESCOLA VICENTE CARVALHO	MDT08	0	1745	1845	15	75
1858	1755 L	1	2	SANTA CRUZ DO SUL	SINIMBU	MDT10	10	1755	1839	5	59
1858	1800 L	2	2	SINIMBU	SANTA CRUZ DO SUL	MDT09	0	1800	1900	0	60
12	1845 F	1	2	SINIMBU	SANTA CRUZ DO SUL	MDT13	0	1845	1945	0	60
1858	1900 L	1	2	SANTA CRUZ DO SUL	SINIMBU	MDT04	0	1900	1945	0	45
1858	2045 L	1	2	SANTA CRUZ DO SUL	SINIMBU	MDT05	15	2045	2130	0	60
1858	2210 L	1	2	SANTA CRUZ DO SUL	SINIMBU	MDT09	10	2210	2255	15	70

Total de Lançamentos: 042

Figura 24 - Publicação da escala gerada após a aplicação da heurística VNS.  
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Na figura 25, pode-se observar a mesma publicação da escala gerada pela rotina de VNS, porém de uma forma mais visual. As viagens são agrupadas por motorista e na sequência em que elas acontecem, gerando uma coluna para cada motorista. As viagens são separadas por tipos em diferentes cores, onde os fretamentos são representados pela cor amarela, as linhas normais representadas pela cor azul e as linhas extras representadas pela cor vermelha.

Pode-se notar a inclusão das duas colunas novas onde se atribui as viagens de fretamentos aos motoristas que estão ociosos, diminuindo assim o pagamento de horas extras e utilizando as horas pagas de motoristas que estão parados.

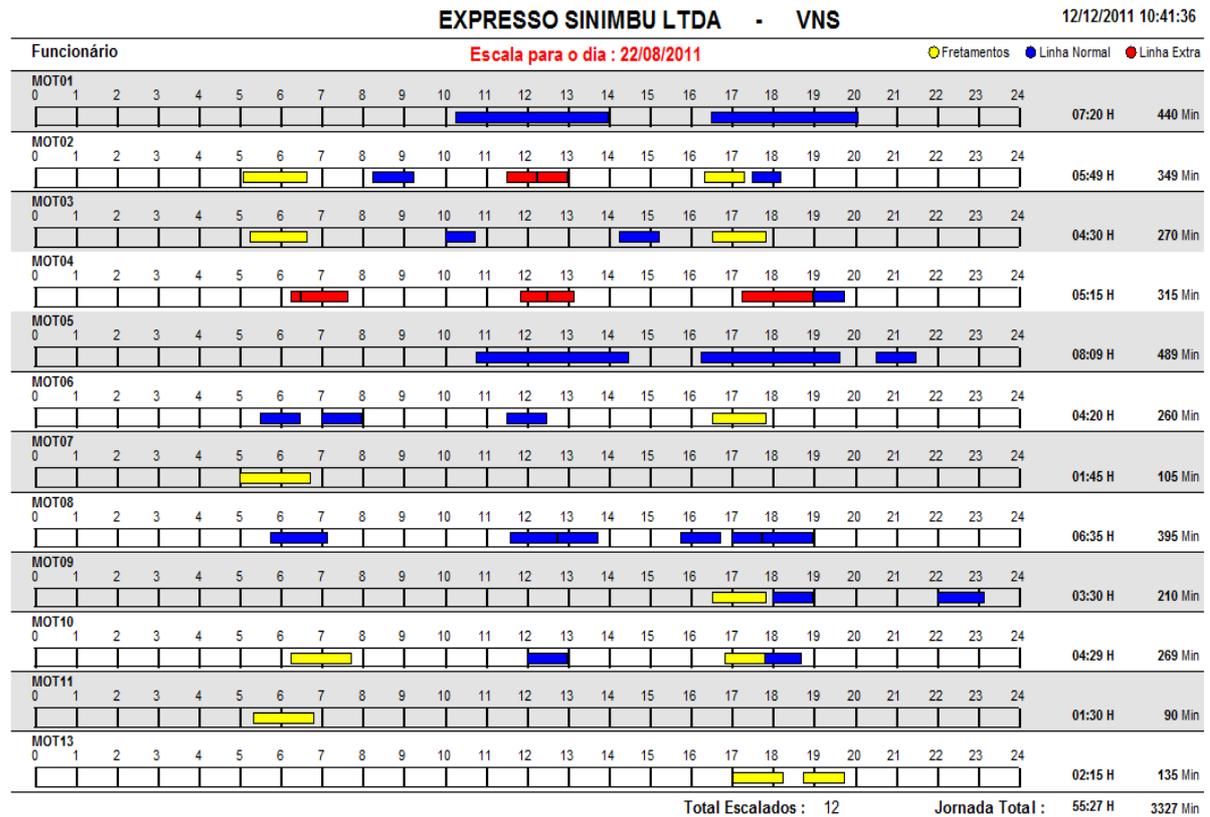


Figura 25 - Publicação da escala consolidada por motorista após aplicação do VNS.  
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Na figura 26, tem-se um relatório de ociosidade diária de motoristas após a aplicação da rotina de VNS, onde se pode observar o nome do motorista, a sua localidade sede, o tempo disponível, o tempo trabalhado e o tempo ocioso em minutos. Estas informações são retiradas da escala gerada pelo sistema após a aplicação da rotina de VNS. Observa-se, no caso dos motoristas Mot05 e Mot01, que estavam com 99 minutos e 65 minutos de horas extras respectivamente, que estes valores foram consideravelmente alterados.

O motorista Mot05 permaneceu apenas com 9 minutos além do seu horário normal e o motorista Mot01 ficou com 40 minutos de folga. Este tratamento é aceitável pela regras da escala e pelas normas da empresa.

Também se pode observar que o motorista Mot12 permaneceu com ociosidade total de 480 minutos. Porém, ao motorista Mot07 foi atribuída uma jornada de 105 minutos proveniente da viagem de fretamento removida do motorista Mot01. Ao motorista Mot11 foi atribuída uma jornada de 90 minutos proveniente da viagem de fretamento removida do motorista Mot05.

Contando que eram pagos 164 minutos de horas extras com taxa de 50%, onde chegava-se a 246 minutos, a rotina de VNS reduziu este número para apenas 9 minutos com taxa de 50%, chegando a 14 minutos. Ainda atribuiu 195 minutos de jornadas a motoristas que estavam ociosos, reduzindo assim o custo operacional da empresa.

## EXPRESSO SINIMBU LTDA

12/12/2011 11:16:14

### Escala VNS para o dia : 22/08/2011

Funcionário	Loc. Sede	Disponível min	Jornada min	Ocioso min
MOT01	PROGRESSO	0480	0440	0040
MOT02	SINIMBU	0480	0349	0131
MOT03	SINIMBU	0480	0270	0210
MOT04	SANTA CRUZ DO SUL	0480	0315	0165
MOT05	SINIMBU	0480	0489	0000
MOT06	SINIMBU	0480	0260	0220
MOT07	PROGRESSO	0480	0105	0375
MOT08	ESCOLA VICENTE CARVALHO	0480	0395	0085
MOT09	SANTA CRUZ DO SUL	0480	0210	0270
MOT10	SINIMBU	0480	0269	0211
MOT11	SINIMBU	0480	0090	0390
MOT12	SINIMBU	0480	0000	0480
MOT13	SANTA CRUZ DO SUL	0480	0135	0345
<b>Total de Lançamentos : 13</b>		<b>Total em Minutos :</b>		
		6240	3327	2922

Figura 26 - Relatório de ociosidade diária após a aplicação da heurística VNS.  
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Observando-se a figura 22, havia 3077 minutos ociosos no total com os 13 motoristas disponíveis, número este que foi reduzido através da aplicação do VNS. O Tempo total ocioso após a aplicação do VNS reduziu-se para 2922 minutos, então obteve-se uma redução de 155 minutos, ou seja, 5.04% no total, conforme a figura 27.

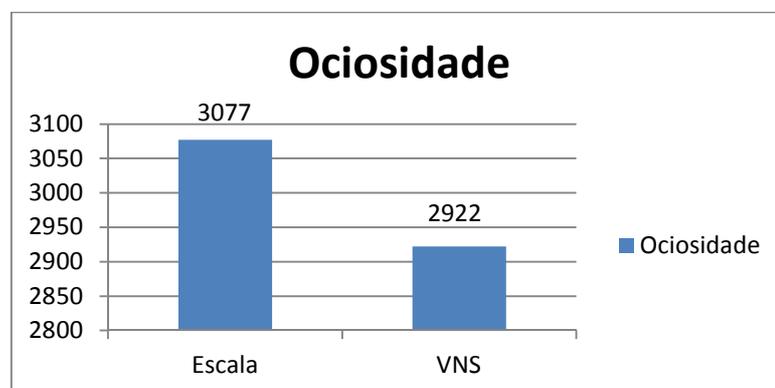


Figura 27 - Gráfico de ociosidade.  
Fonte: Elaborado pelo autor.

Verificou-se também que dos 13 motoristas necessários na escala manual, apenas 12 motoristas foram necessários na geração da escala e também na aplicação do VNS. Portanto, resta o motorista Mot12 que teoricamente poderá ser dispensado, pois a escala está completa e ainda tem-se um percentual de 46,83% de ociosidade. Caso ocorra a dispensa do motorista, haverá uma redução na ociosidade e, portanto, um ganho em relação à escala manual e à ociosidade diminuiria de 46,83% para 42,40% e passando-se a ter então 2442 minutos ociosos, reduzindo assim os custos em mais 7,69%.

Trocando-se as jornadas de fretamentos dos motoristas com excesso de trabalho para os dois motoristas antes ociosos, reduz-se o custo de horas extras e, assim, economiza-se 155 minutos que acrescidos de seus respectivos encargos (50%) geraria 232 minutos e 30 segundos que deveriam ser pagos. Após a aplicação do VNS, tem-se apenas 9 minutos que acrescidos de seus encargos (50%) gera 13 minutos e 30 segundos de horas extras a serem pagas, conforme visto na figura 28.

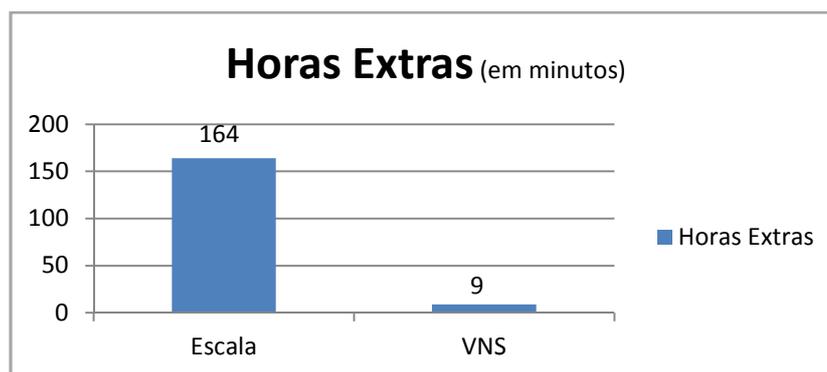


Figura 28 - Gráfico de Horas Extras.  
Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir deste ponto, os dados apresentados, são informações utilizando-se o universo total dos motoristas da empresa nos testes de geração da escala em ambiente real.

O custo médio aproximado entre salário e encargos por motorista gira em torno de R\$ 2.600,00 e contando os 76 motoristas hoje efetivos na empresa, há um custo mensal de aproximadamente R\$ 197.600,00. Portanto, com a economia de 7,69% na dispensa de motoristas excedentes e ainda a economia de 5,04% na redução horas extras, será possível obter uma economia de 12,73% no total e que representam R\$ 25.154,48 mensais somente em salários e encargos, conforme visto na figura 29.

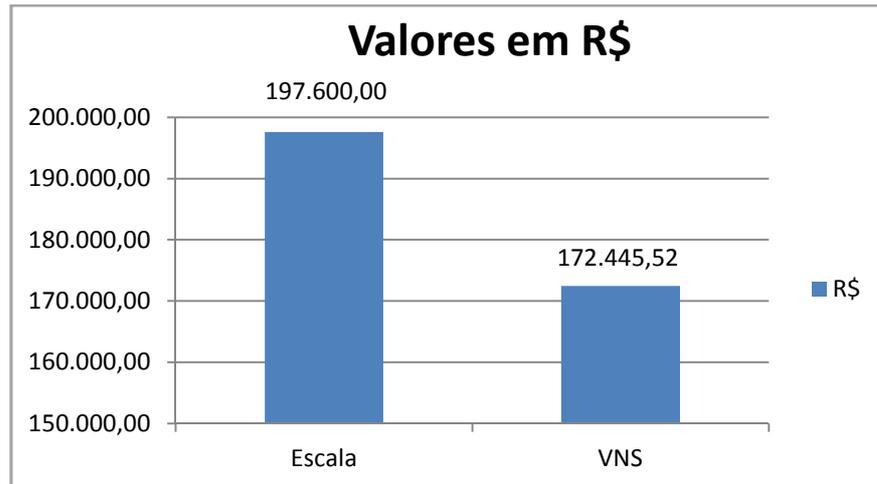


Figura 29 - Gráfico de Valores.  
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Uma vez que os sindicatos de classe impedem que seus associados (motoristas e cobradores) exerçam funções para as quais não foram contratados, não é possível realocar os motoristas excedentes. Quando se apresenta uma situação destas, os motoristas mais antigos e que realmente são interessantes para a empresa, geralmente são promovidos para outras funções onde poderão ser melhor aproveitados, em cargos tal como instrutores para motoristas iniciantes, fiscais de linha ou supervisores de setor, criando assim novas vagas de trabalho e proporcionando o aproveitamento dos motoristas que teoricamente seriam dispensados.

## 6. CONCLUSÕES

O Problema de Escalonamento de Tripulações é um problema de grande importância prática no planejamento das operações nas empresas de transporte coletivo. Este trabalho teve por objetivo fazer uma revisão de alguns trabalhos voltados para o tratamento do problema descritos na literatura e apresentar a metaheurística VNS explorada para resolver uma parte do problema de escalas que são os fretamentos.

Como objetivos específicos, acompanhou-se o processo de criação da escala manual feita por funcionários da empresa, objetivando o levantamento de dados e características da metodologia empregada, onde foi possível entender todo o processo. Além das entrevistas com estes funcionários, que serviram para sanar as dúvidas que eventualmente se apresentavam e para identificar os problemas e dificuldades do processo.

Estudou-se as diversas tecnologias disponíveis na literatura e os trabalhos relacionados que poderiam efetivamente contribuir na resolução do problema, onde optou-se pela metaheurística VNS para a efetiva solução do sistema de escala de fretamentos. Modelou-se o processo de acordo com a metaheurística e desenvolveu-se o sistema computacional baseado em técnicas de programação tradicionais para a geração da escala e, após, incluiu-se as rotinas específicas de VNS para otimização dos dados do fretamento gerado.

Os testes aplicados ao sistema computacional desenvolvido apresentaram resultados animadores o que motivou a aplicação do sistema em ambiente real e paralelo ao sistema manual, que continuava a ser aplicado na empresa por motivos de segurança. Os resultados dos testes em ambiente real foram bem sucedidos e a avaliação por parte da empresa foi favorável. Os resultados em ambiente real foram os demonstrados neste trabalho.

Além disso, as soluções obtidas pela metodologia são comparadas com soluções obtidas pela metodologia hoje empregada no processo de geração da escala manualmente e que apresenta bons resultados para problemas reais, porém, é lenta e passível de erros, uma vez que é feita totalmente manual.

Este trabalho também releva diversos aspectos do problema de escalonamento de tripulações intermunicipais. Primeiramente, por difundir o estudo do problema no Brasil, onde é resolvido de forma precária pela maioria das empresas do setor de transporte coletivo, o que muitas vezes impossibilita a aplicação de normas trabalhistas e sindicais. Um segundo aspecto importante e que justifica o desenvolvimento deste trabalho é o fato de que são levadas em consideração características dos problemas reais, já que boa parte dos métodos heurísticos

encontrados na literatura é desenvolvida para problemas cujas características pouco condizem com a realidade.

Desta forma, este trabalho contribui no sentido da elaboração e utilização de técnicas organizacionais, acumulando, assim, os conhecimentos e criando ferramentas para a redução dos custos das empresas e deste segmento como um todo.

Na comparação dos resultados encontrados nas modelagens exata (escala) e heurística (VNS), verificou-se que o algoritmo heurístico sempre atinge o ótimo global para as instâncias onde este é conhecido.

Verifica-se também que a metaheurística proposta mostrou-se robusta, pois partindo de uma solução inicial chegou a uma solução final melhor e que difere da solução encontrada em um percentual satisfatório.

Portanto, os resultados obtidos validam a utilização da metaheurística (VNS) para a resolução do problema de programação das viagens de fretamento na escala de motoristas intermunicipais.

## 6.1 Trabalhos Futuros

Entre as propostas para continuidade do presente trabalho, pode-se sugerir:

- A implementação da escala de cobradores na continuidade da escala de motoristas, pois os cobradores são parte integrante da tripulação escalada para cada viagem e devem ser escalados da mesma forma que os motoristas.
- A integração da escala de tripulantes com a escala de veículos, pois nem sempre os veículos disponíveis estão aptos a realizar as viagens. Então, torna-se necessário que a oficina de manutenção saiba com antecedência quais veículos têm prioridade na manutenção em função das viagens programadas.
- A implementação da ficha ponto, que através das informações geradas pela escala de tripulantes ficará muito fácil de gerir. As folgas, descansos mensais, bem como férias, prêmios entre outras, seriam um complemento para o sistema de escala e melhorariam o sistema consideravelmente.
- A implementação da escala para o pessoal da manutenção, do plantão diário e para o plantão dos finais de semana. Esta implementação seria de menor importância, uma vez que a escala de veículos estivesse implementada, pois ela se encarregaria de manter os veículos prontos e revisados para as viagens evitando manutenções de

urgência e em finais de semana, reduzindo assim o número de funcionários de plantão necessários.

## 7. REFERÊNCIAS

AGUIAR, M. R. Avaliação dos objetivos de política tarifária sob enfoque da elasticidade-tarifa e elasticidade-renda da demanda: o caso da RMSP. Trabalhos em Eventos da ANTP. 2001. Acessado em 26/01/2011 através da internet via WWW. URL: <http://portal1.antp.net/site/bbtc/cng/Lists/13cng/DispForm.aspx?ID=23>.

Associação Nacional de Transporte Público (ANTP). Transporte público: os grandes desafios do transporte urbano, São Paulo, 2005. Disponível em: <[http://www.antp.org.br/TELAS/congresso\\_transito\\_transporte2.htm/#grandes\\_desafios](http://www.antp.org.br/TELAS/congresso_transito_transporte2.htm/#grandes_desafios)>. acesso em: 20 jan. 2005.

BEAL, Adriana. Gestão estratégica da informação: como transformar a informação e a tecnologia da informação em fatores de crescimento e de alto desempenho nas organizações. São Paulo: Atlas, 2004.

BELLINGER, Gene. Knowledge Management - Emerging Perspectives. 2004. Disponível em: <<http://www.systems-thinking.org/kmgmt/kmgmt.htm>>. Acesso em: 01 jun. 2009.

BLAIS, J. Y., LLAPORTE, G., LESSARD, R., ROUSSEAU, J. M. & SOUMIS, F. (1976) – The problem of assigning drivers to bus routes in a urban transit system, Report, n. 44, Centre de recherche sur les Transports, Université de Montréal.

CAPRARA, A., FISCHETTI, M., TOTH, P., VIGO, D. & GUIDA, P. L. (1997) - Algorithms for railway crew management, Mathematical programming, n, 79, p.125-141.

CHAVES, A. A.; BIAJOLI, F. L.; MINE, O. M.; SOUZA, M. J. F. Metaheurísticas híbridas para resolução do problema do caixeiro viajante com coleta de prêmios. Revista Produção, v. 17, n. 2, p. 263-272, Maio/Ago. 2007

CONSTANTINO, A. A.; NOVAES, A. G. . Otimização de Escalas de Trabalho para Condutores de Trem. In: XI Congresso de Pesquisa e Ensino de Transportes, 1997, Rio de Janeiro - RJ. Anais do XI Congresso de Pesquisa e Ensino de Transportes. Rio de Janeiro-RJ, 1997. v. 2. p. 810-818.

CONSTANTINO, A. A.; NOVAES, A. G. . Escalonamento de Tripulação por Computador: Revisão de Modelos e Algoritmos. In: IX Congresso de Pesquisa e Ensino de Transportes, 1995, Sao Carlos-SP. Anais do IX Congresso de Pesquisa e Ensino de Transportes. São Carlos-SP, 1995. v. 1. p. 940-951.

DAVENPORT, T. H., PRUSAK, L.. Conhecimento empresarial. Rio de Janeiro: Campus, 1998.

DAER – Departamento Autônomo de Estadados de Rodagem – (2010) Coletânea da Legislação Sobre Transporte Coletivo de Passageiros – p.107 - [http://www.daer.rs.gov.br/site/institucional\\_legislacao.php](http://www.daer.rs.gov.br/site/institucional_legislacao.php).

DESROCHERS, M & SOUMIS, F. (1989) - A column generation approach to the urban transit crew scheduling problem. *Transportation Science*, v.23, n.1, p.1-13.

FRANTZ, Fabiane Andréa. Um sistema multiagente aplicado a processos de negócios. Santa Cruz do Sul: UNISC, 2004.

FISHER, M.L., (1981) - The Lagrangian relaxation method for solving integer programming problems, *Management Science*, n. 27, p. 1-18.

FRELING, R.; WAGELMANS, P.; PAIXÃO, M. An overview of models and techniques for integrating vehicle and crew scheduling. **Computer-Aided Transit Scheduling**, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Wilson, N. H. M. (ed.), Springer-Verlag, Berlin, v. 471, p. 441-460. 1999.

FRELING, R.; HUISMAN, D.; WAGELMANS, A. Applying an integrated approach to vehicle and crew scheduling in practice. **Computer-Aided Transit Scheduling of Public Transport**, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, S. Voß, J. R. Daduna (eds), Springer, Berlin, v. 505, p. 73-90. 2001.

FRELING, R.; HUISMAN, D.; WAGELMANS, A. Models and algorithms for integration of vehicle and crew scheduling. **Journal of Scheduling**, v. 6, p. 63-85. 2003.

GAFFI, A.; NONATO, M. An integrated approach to ex-urban crew and vehicle scheduling. **Computer-Aided Transit Scheduling**, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Wilson, N. H. M. (ed.), Springer, Berlin, v. 471, p. 103-128. 1999.

GALBIER, F & LORENA, L. A. N. Uma Heurística Construtiva aplicada a Problemas de Roteamento de Veículos. 2004.

GAMACHE, M., SOUMIS, F., MARQUIS, G. & DESROSIERS, J., (1999) - A column generation approach for large-scale aircrew rostering problems. *Operations Research*, v. 47, n.2, p. 247-263.

HAASE, K.; DESAULNIERS, G.; DESROSIERS, J. Simultaneous vehicle and crew scheduling in urban mass transit systems. **Transportation Science**, v. 35, n. 3, p.286-303. 2001.

HUISMAN, D.; FRELING, R.; WAGELMANS, A. P. M. A dynamic approach to vehicle scheduling. **Econometric Institute Report**, Econometric Institute, Erasmus University Rotterdam, n. 225, v.2. 2001.

HUISMAN, D.; FRELING, R.; WAGELMANS, A. P. M. Multiple-depot integrated vehicle and crew scheduling. **Econometric Institute Report**, Econometric Institute, Erasmus University Rotterdam, n. 2001-17. 2003.

HUISMAN, D.; WAGELMANS, A. P. M. A solutions approach for dynamic vehicle and crew scheduling. **Econometric Institute Report**, v. 2. 2004.

HUISMAN, D.; WAGELMANS, A. P. M. A solutions approach for dynamic vehicle and crew scheduling. **European Journal of Operational Research**, v. 172, ed. 2, p. 453-471. 2006.

LESSARD, R., ROSSEAU, J. M. & DUPUIS, D., (1981) - Hastus I: A mathematical programming approach to the bus driver scheduling problem. Elsevier, Amsterdam.

Lourenço, H. R.; Paixão, J. P.; Portugal, R. Multiobjective metaheuristics for the bus-driver scheduling problem. *Transportation Science*, v. 35, n. 3, p. 331–343, Aug. 2001.

MANINGTON, B. & WREN, A. (1975) - A general computer method for bus crew scheduling. Preprints of the Workshop on Automated Techniques for Scheduling of Vehicle operators for Urban Public Transportation Services, Chicago.

MARINHO, E. H. *et al.* Busca Tabu Aplicada ao Problema de Programação de Tripulações de Ônibus Urbano. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, XXXVI, 2004, São João Del Rei. **Anais do XXXVI SBPO**. São João Del Rei, SOBRAPO, 2004. p. 1471-1482.

MARTINS, J. F. Uma Abordagem Para a Solução de Problemas de Rotações de Tripulações Para Empresas Aéreas Utilizando Busca Tabu e Janelas de Tempo. 2007.

MCGEE, J. V.; PRUSAK, L. *Gerenciamento estratégico da informação: aumente a competitividade e a eficiência de sua empresa utilizando a informação como uma ferramenta estratégica*. Rio de Janeiro: Campus, 1994.

MELO, Luiz Eduardo Vasconcelos. *Gestão do conhecimento: conceitos e aplicações*. São Paulo: Érica, 2003.

MLADENOVIC, N. & HANSEN, P. Variable Neighborhood Search. **Computers and Operations Research**, v. 24, n. 11, p. 1097-1100. 1997.

MOURA, A. V.; YUNES, T. H.; SOUZA, C. C. A hybrid approach for solving large scale crew scheduling problems with constraint programming and integer programming. **Second Workshop on Practical Aspects of Declarative Languages**, Lecture Notes in Computer Science. Heidelebrg: Springer. 2000.

PEDROSA, D.; CONSTANTINO, M. Days-off scheduling in public transport companies. **Computed-aided Scheduling of Public Transport**, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Springer, v. 505, p. 215-232. 2001.

QUEL, Luiz Felipe. *Gestão de conhecimentos*. São Paulo: Saraiva, 2006.

REIS, J. A. **Técnicas de otimização aplicadas à programação diária de veículos e de tripulações de ônibus**. Monografia (curso de Engenharia de Produção), 1. Ed. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 2006. 70p.

REIS, J. A.; SILVA, G. P.; SOUZA, M. J. F. Otimização integrada no sistema de transporte público. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, XX, 2006, Brasília. **Anais do XX ANPET**. Brasília, ANPET, 2006. vII, p 717-728.

REIS, J. A.; CUNHA, C. B.; SILVA, G. P. Uma Abordagem Integrada para o Problema de Programação de Veículos e Tripulantes de Ônibus. In: XXI ANPET - Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2007, Rio de Janeiro. **Anais do XXI ANPET - Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes**. Rio de Janeiro : ANPET. p. 1-12.

RIBEIRO, C.C. (1996) - Metaheuristics and Applications. In Advanced School on Artificial Intelligence, Estoril, Portugal.

ROSSEAU, J., LESSARD, R., & BLAIS, J.Y. (1985) - Enhancement to the Hastus crew scheduling algorithm, Elsevier, Amsterdam.

SILVA, G. P.; SOUZA, M. J. F.; ATZINGEN, J. Um método híbrido de geração de colunas para otimizar a mão de obra do sistema de transporte público. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, XXXVI, 2004, São João Del Rei. **Anais do XXXVI SBPO**. São João Del Rei, SOCRAPO, p.1989-1995. 2004.

SILVER, E. A. An overview of heuristic solution methods. **Journal of The Operational Research Society**, v. 55, n. 9, p. 936-956. 2004.

SMIT, B. M.; WREN, A. VAMPIRES and TASC: two successfully applied bus scheduling programs. **Computer Scheduling of Public Transport**, Wren A., Amsterdam. 1981.

SMIT, B. M., WREN, A. A bus crew scheduling system using a set covering formulation. **Transportation Research**, v. 22A, p. 97-108. 1988.

SOUZA, M. J. F. *et al.* Metaheurísticas aplicadas ao problema de programação de tripulações no sistema de transporte público, **Tendências em Matemática Aplicada e Computacional**, v.5, n. 12, p. 357-368. 2004.

STAIR, Ralph M. e REYNOLDS, George W. *Princípios de sistemas de informação*. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2006.

SPTRANS Expresso Tiradentes: Transformar e urbanizar o meio ambiente. São Paulo, 2006, p.23-54.

TOFFOLO, Túlio A. M.; SOUZA, Marcone Jamilson Freitas; PONTES, Roberto Carlos Vieira; SILVA, Gustavo Peixoto. Heurística de Recobrimento Aplicada à Escala de Tripulações Aéreas. In: Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 2006, Goiânia. Anais do XXXVIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 2006. p. 1-12.

VALOUXIS, C.; HOUSOS, E. Combined bus and driver scheduling. **Computers and Operations Research**, Elsevier, v. 29, n. 3, p. 243-259. 2002.

WILHELM, E. B. (1975) - Overview of the Rucus package driver run cutting program (RUNS), Chicago.

WREN, A., SMITH, B. M. & MILLER, A. J. (1985) - Complementary approaches to crew scheduling, Amsterdam.