

ANÁLISE DO IMPACTO OPERACIONAL DE UM PROJETO FERROVIÁRIO ATRAVÉS DE  
SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS

Fernanda Reis Ramalho

MONOGRAFIA SUBMETIDA À COORDENAÇÃO DE CURSO DE ENGENHARIA  
DE PRODUÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA  
COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA PRODUÇÃO.

Aprovada por:

---

Prof. Fernando Marques de Almeida Nogueira, D.Sc.

---

Eng. Marcelo Neder Machado

---

Eng. José Geraldo Ferreira, M.Sc.

JUIZ DE FORA, MG - BRASIL

JUNHO DE 2009

RAMALHO, FERNANDA REIS

Análise do impacto operacional de um projeto ferroviário através de simulação de eventos discretos [Minas Gerais] 2009

IX, 47 p. 29,7 cm (Engenharia de Produção / UFJF, Graduação em Engenharia de Produção, 2009)

Monografia - Universidade Federal de Juiz de Fora, Departamento de Engenharia de Produção

1. Simulação de Eventos Discretos
2. Transporte Ferroviário

I. EP/UFJF II. Título ( série )

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela força e pelas oportunidades que me fizeram chegar até essa etapa e concluir mais esse trabalho.

A meus pais, irmã, amigos e toda a família pela compreensão e incentivo na realização do mesmo assim como durante todo o curso.

Ao Leonardo pelo apoio sem o qual não seria possível vencer todas essas etapas.

À turma Game Over e colegas das outras turmas do curso pelo companheirismo e conhecimento compartilhado.

Aos professores da UFJF pela atenção e pelo conhecimento transferido durante todo o curso.

Aos amigos e professores na Virginia Tech que também colaboraram para meu aprendizado, em especial ao Jesse por toda atenção dispendida e, à Dr. Van Aken pelas oportunidades proporcionadas.

Agradecimento em especial ao Geraldo Magela não só pela oportunidade de estágio na companhia MRS Logística, mas também pela confiança, incentivo e por ter proporcionado todo o aprendizado essencial para o desenvolvimento deste trabalho. Assim também à toda a equipe e amigos na companhia que também colaboraram para a realização do estágio e conclusão deste trabalho.

Ao Zé Geraldo pela sugestão de desenvolvimento do tema e suporte.

Ao Marcelo pela atenção, disponibilidade e grande contribuição na realização da monografia.

Ao Fernando pela orientação, paciência e toda disponibilidade.

Resumo da monografia apresentada à Coordenação de Curso de Engenharia de Produção como parte dos requisitos necessários para a graduação em Engenharia Produção.

## ANÁLISE DO IMPACTO OPERACIONAL DE UM PROJETO FERROVIÁRIO ATRAVÉS DE SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS

Fernanda Reis Ramalho

Junho/2009

Orientadores: Fernando Marques de Almeida Nogueira  
Marcelo Neder Machado

Curso: Engenharia de Produção

**Resumo:** A região de São Paulo da malha da MRS Logística apresenta grande complexidade na operação de transporte por envolver diversas restrições como as impostas pelo sistema cremalheira e pelo trecho da CPTM. Nessa região circulam trens de minério, carga geral e expressos atendendo diversos clientes. Um dos principais problemas atualmente é o trecho da CPTM por onde os trens de carga da MRS compartilham em horários restritos os mesmos trilhos dos trens de passageiros da CPTM causando grande perda de produtividade e interferindo no tráfego na cremalheira. Além dessas restrições, há também aquelas relativas ao comprimento e peso da composição e ainda ao material rodante, como modelos de locomotivas e equipamentos de controle de tráfego. Por apresentar impactos significativos na produção da companhia e pela perspectiva de aumento do tráfego na região, torna-se importante avaliar alternativas para a operação de transporte. Entre elas está o projeto da segregação de linhas, no qual a MRS deixará de compartilhar os trilhos com a CPTM em alguns trechos. Neste trabalho serão avaliados os ganhos na produtividade com a segregação do trecho entre os pátios de Manoel Feio e Suzano, analisando a capacidade operacional, os ciclos de produção e os índices de THP (trem hora parado) dos principais fluxos vigentes, além de fazer uso de técnicas de simulação para avaliar diferentes cenários.

**Palavras-chave:** capacidade operacional, simulação, ferrovia.

Abstract of the monograph presented to the Coordination of the Production Engineering Course as part of the necessary requirements for graduating in Production Engineering.

## OPERATIONS IMPACT ANALYSIS OF A RAILROAD PROJECT BY MEANS OF DISCRETE EVENT SIMULATION

Fernanda Reis Ramalho

June/2009

Advisors: Fernando Marques de Almeida Nogueira

Marcelo Neder Machado

Course: Production Engineering

**Abstract:** The region of São Paulo at MRS Logística railroad presents great complexity in the transport operation as it involves many restrictions implied by the rack system and by the CPTM path. In this region run trains of heavy haul, general loads and express trains to reach many clients. One of the main current problems is the CPTM path where MRS trains share the same trails with CPTM trains during restricted periods of time causing lost in productivity and interfering on the circulation at the rack. In addition to these restrictions there are those about the composition length and weight and also about the circulating resources like locomotive models and equipment of traffic control. Since it implies many significant impacts to the company's production and because of the increasing perspective of trains' traffic in this region it becomes important to evaluate alternatives to the transport operation. Among them there is the lines segregation project in which MRS will not share the same trails with CPTM in some stretches. In this paper will be evaluated the gains on productivity with the segregation between the yards of Manoel Feio and Suzano, analyzing the railroad capacity, the production cycles and the THP rates ("train hour waiting") of the main current flows and also using simulation techniques to evaluate different scenarios.

**Keywords:** operational capacity, simulation, railroad.

## SUMÁRIO

Capítulo I	INTRODUÇÃO .....	1
1.1.	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	1
1.2.	OBJETIVOS.....	2
1.3.	JUSTIFICATIVAS .....	2
1.4.	ESCOPO DO TRABALHO .....	3
1.5.	METODOLOGIA .....	4
Capítulo II	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1.	PLANEJAMENTO E ESTRATÉGIA DA PRODUÇÃO .....	5
2.2.	ANÁLISE DE CAPACIDADE.....	6
2.2.1.	TEORIA DE FILAS.....	8
2.3.	SIMULAÇÃO.....	9
Capítulo III	DESCRIÇÃO .....	12
2.1.	A COMPANHIA MRS LOGÍSTICA .....	12
2.2.	A OPERAÇÃO DE TRANSPORTE .....	12
2.3.	A REGIÃO DE SÃO PAULO .....	14
2.4.	A CREMALHEIRA.....	16
2.4.1.	O PROJETO DA ESTEIRA TRANSPORTADORA.....	16
2.5.	O TRECHO CPTM.....	16
2.5.1.	CONTRATO COM A CPTM .....	19
2.6.	O PROJETO DA SEGREGAÇÃO DE LINHAS .....	20
2.7.	PRINCIPAIS FLUXOS VIGENTES.....	22
2.7.1.	DESENHOS OPERACIONAIS.....	23
2.7.2.	ACORDOS OPERACIONAIS.....	23
2.8.	THP – TREM HORA PARADO .....	23
2.9.	CICLOS .....	25
Capítulo IV	DESENVOLVIMENTO .....	26
4.1.	GANHOS ESPERADOS .....	26
4.2.	ANÁLISE DA CAPACIDADE DE PRODUÇÃO .....	27
4.2.1.	ANÁLISE DE REDUÇÃO DE THP .....	27
4.2.2.	ANÁLISE DE GANHO EM CICLO.....	30
4.2.3.	OUTRAS CONSIDERAÇÕES.....	32
4.3.	SIMULAÇÃO.....	33

4.3.1. DADOS DE ENTRADA .....	33
4.3.2. LÓGICA DO MODELO.....	34
4.3.3. CENÁRIOS ANALISADOS .....	36
4.3.4. RESULTADOS.....	36
Capítulo V CONCLUSÃO .....	40
5.1. CONCLUSÕES.....	40
5.2. RECOMENDAÇÕES, SUGESTÕES E PROPOSTAS .....	40
5.3. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	41
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	41
ANEXO I Glossário de termos ferroviários.....	43
ANEXO II Intervalos entre trens na CPTM por trecho.....	45
ANEXO III Restrição das composições na CPTM.....	46
ANEXO IV Modelos para os cenários simulados .....	47

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Participação da região de São Paulo na produção total da companhia .....	2
Figura 2 - Mapa do trecho da segregação de linhas.....	3
Figura 3 - Cronograma para realização do trabalho .....	4
Figura 4 - Planejamento e controle da capacidade produtiva .....	6
Figura 5 - Planejamento e controle da capacidade como uma seqüência de decisões.....	7
Figura 6 - Passos para formulação de um estudo de modelagem e simulação. ....	10
Figura 7 - Mapa da região de São Paulo. ....	15
Figura 8 - Linhas da CPTM .....	17
Figura 9 - Trecho entre Manoel Feio e Suzano .....	22
Figura 10 - Trecho entre Rio Grande da Serra e Mooca.....	22
Figura 11 - Índices de THP em horas .....	28
Figura 12 - Redução nos ciclos .....	31
Figura 13 – Desenho do modelo .....	36
Figura 14 – Gráfico de resultados da simulação.....	37
Figura 15 – Tempo em espera trechos CPTM.....	37
Figura 16 – Tempos em espera.....	38
Figura 17 – Taxas de utilização .....	38
Figura 18 – <i>Transit times</i> .....	39

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Nomenclatura das linhas da CPTM .....	17
Tabela 2 - Descrição das etapas de um ciclo .....	25
Tabela 3 - índices de THP .....	28
Tabela 4 - THP médio mensal realizado e total anual projetado.....	28
Tabela 5 - THP por pátio .....	29
Tabela 6 - Redução média diária de THP por pátio .....	29
Tabela 7 - Ciclo Usiminas Cubatão realizado .....	30
Tabela 8 - Cálculo de THP causa CPTM.....	31
Tabela 9 - Cálculo THP realizado sem interferência da CPTM .....	31
Tabela 10 - Incremento na capacidade .....	32
Tabela 11 – Inputs do modelo .....	34

## Capítulo I

### INTRODUÇÃO

#### 1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A economia brasileira vem passando por transformações que tendem a se acelerar com o dinamismo macro econômico atual, o que traz implicações para o setor de transporte, sobretudo do modal ferroviário. Com os grandes investimentos da concessão, aos poucos esse modal de transporte vem ocupando seu espaço e importância no cenário nacional.

A dinâmica da movimentação de mercadorias busca sempre melhorar a logística para aumentar a competitividade e reduzir custos, possibilitando manter-se atuante numa economia globalizada. Para identificar e desenvolver uma logística ferroviária adequada torna-se necessário avaliar as características como fluxos, volumes, acondicionamento, tipo de vagão, tração de locomotivas, tempo de circulação, custos atuais de frete entre outros.

A companhia MRS Logística atua no mercado de transporte ferroviário desde 1996, contando com 1.643 Km de malha para o transporte e distribuição de cargas onde estão instalados os maiores complexos industriais, concentrando aproximadamente 65% do produto interno bruto. Através de sua malha tem-se acesso a portos de grande destaque no cenário nacional como de Sepetiba e de Santos, este último considerado o mais importante da América Latina. Parte importante e um de seus gargalos é o sistema São Paulo - CPTM/Cremalheira, que faz ligação com o porto de Santos e importantes clientes da baixada santista.

O termo cremalheira refere-se a um sistema especial de tração no trecho compreendido entre os pátios Paranapiacaba (IPA) em Ribeirão Pires e Raiz da Serra (IRS) em Cubatão, cuja finalidade é vencer de forma mais eficiente o grande desnível na Serra do Mar. Os trens que transitam nesse trecho têm comprimento e peso maiores que a capacidade de tração, o que faz com que as composições sejam fragmentadas em lotes de acordo com restrições de peso e comprimento, além de recursos como as locomotivas elétricas.

A CPTM opera o sistema de trens para o transporte de passageiros interligando as malhas da MRS nas regiões do Vale do Paraíba, Baixada Santista, e Jundiaí, por onde os trens de carga da MRS compartilham em horários restritos os mesmos trilhos dos trens de passageiros da CPTM.

Muito tem sido discutido no contexto atual a respeito dos problemas de congestionamento na zona urbana de São Paulo e os projetos que visam uma solução para o compartilhamento das linhas entre os trens de carga e os de passageiros, como o da segregação de linhas e a construção do ferroanel. Neste trabalho serão analisados os ganhos na produtividade com a realização do projeto da segregação de linhas de carga.

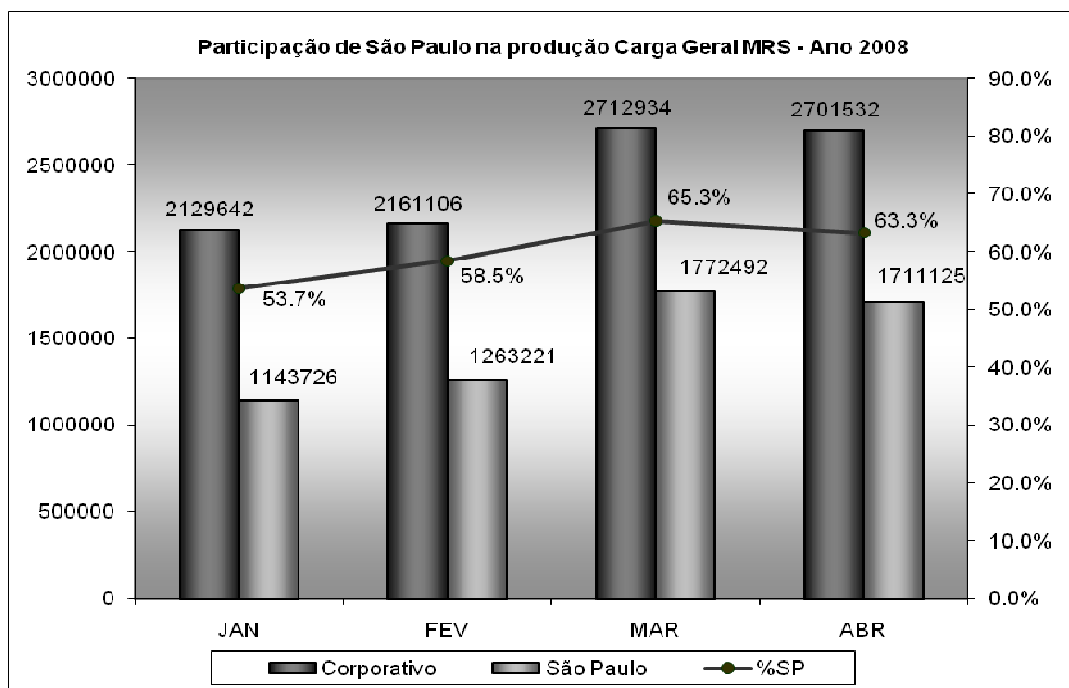
## 1.2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é quantificar o incremento na produção na região de São Paulo na malha da MRS Logística com a realização do projeto da segregação de linhas da CPTM utilizando simulação de eventos discretos e análises estatísticas.

O projeto implica na duplicação da linha e segregação da operação no trecho entre os municípios de Suzano e Pinheirinho, os quais são atualmente compartilhados entre os trens de carga da MRS e os de passageiros da CPTM, constituindo um gargalo para a capacidade produtiva da malha. Com este trabalho pretende-se contribuir com o meio acadêmico demonstrando o uso de técnicas de simulação de eventos discretos para avaliação dos impactos de projetos de grande porte, como no caso da ferrovia.

## 1.3. JUSTIFICATIVAS

As principais justificativas para o desenvolvimento do tema envolvem a importância do projeto no cenário brasileiro atual e o interesse da companhia em avaliar os ganhos na produtividade com a realização do projeto da segregação das linhas da CPTM. Um dos seus maiores problemas está na necessidade de dividir a circulação na via com os trens CPTM, constituindo uma limitação para o crescimento do fluxo de carga e ainda interferindo na circulação da cremalheira. Vale lembrar que a região de São Paulo da MRS apresenta impactos significativos na produção da companhia, principalmente no transporte de carga geral, como mostrado na figura 1.



**Figura 1 - Participação da região de São Paulo na produção total da companhia**  
ADAPTADO: MRS Logística (2008)

Tal projeto tem grande importância no contexto atual por diversos motivos. Entre eles, está o fato de se tornar uma alternativa ao projeto do Ferroanel, o qual fará parte do PAC (Projeto de Aceleração do Crescimento) e custará cerca de um bilhão de reais, enquanto o projeto da Segregação custará cerca de 40% daquele valor e poderá solucionar alguns dos principais problemas. Outro importante motivo será o fato do compartilhamento das linhas entre os trens de carga da MRS e os trens de passageiros da CPTM consistirem em um gargalo para a economia brasileira, causando perda na produtividade da MRS e congestionamento de trens na zona urbana de São Paulo. Além disso, tal obra terá capacidade de desafogar o tráfego de caminhões nas marginais Tietê e Pinheiros na capital paulista. Outro fator significativo são as altas perspectivas de crescimento de ambas empresas, o que implica em cada vez mais conflitos no compartilhamento da via.

#### 1.4. ESCOPO DO TRABALHO

O escopo do trabalho envolve estudar a malha de São Paulo da companhia MRS Logística. Serão analisados os ganhos na produtividade da operação com a segregação operacional somente no trecho entre Manoel Feio e Suzano, conforme mostrado na figura 2, o que implicará num impacto na operação e na produção em toda a região de São Paulo.

Os objetos de estudo incluirão a malha dessa região, sua capacidade operacional, os principais fluxos de mercadoria, as formas de operação, o ciclo e o THP (trem hora parado) dos principais fluxos da região para avaliar os ganhos com a segregação das linhas através de análises estatísticas e técnicas de simulação.



**Figura 2 - Mapa do trecho da segregação de linhas**  
ADAPTADO: MRS Logística (2008)



## Capítulo II

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 2.1. PLANEJAMENTO E ESTRATÉGIA DA PRODUÇÃO

Uma operação deve ser contínua dentro dos limites impostos por seu projeto, sendo necessário o gerenciamento das atividades a fim de satisfazer à demanda, papel desempenhado pelo planejamento e controle da operação. Tais atividades são responsáveis por garantir que os processos de produção ocorram de maneira eficaz e atendam aos requisitos dos clientes. Um plano pode ser definido como um conjunto de intenções para o que deveria ocorrer enquanto o controle seria um conjunto de ações para direcionar o plano (SLACK *et. al.*, 2002).

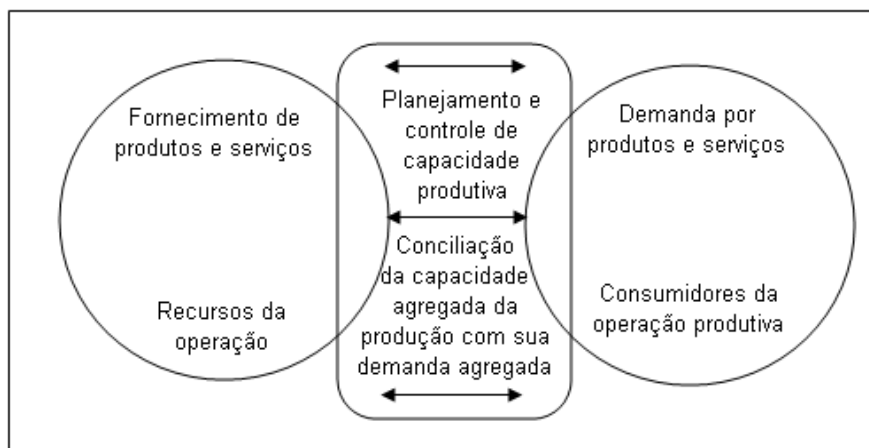
Ainda segundo os autores, no longo prazo, planos são feitos em relação ao que se pretende fazer, que recursos usar e que objetivos atingir. No médio prazo, os planos são mais detalhados, preocupa-se com a demanda global da operação determinando recursos e contingência. Já no curto prazo os recursos terão sido definidos e a demanda será analisada de forma mais desagregada, sendo ainda possível intervir nos recursos para corrigir desvios dos planos.

Corrêa e Corrêa (2006) afirmam que a estratégia de operações leva em conta não só implicações de curto prazo, mas também a longo prazo, olhando de forma pró-ativa e contemplando os meios pelos quais a operação pode maximizar seu potencial para obter vantagens competitivas e atingir objetivos estratégicos. A estratégia de operações preocupa-se com o processo global da função de produção como um todo e das interfaces com outras áreas da organização, além do desenvolvimento de longo prazo dos processos e recursos para ter níveis sustentáveis de vantagens competitivas.

No caso da ferrovia, para oferecer um transporte de carga eficiente e a baixos custos, vários problemas são enfrentados nos diferentes níveis de decisão, sejam eles estratégicos, táticos ou operacionais, que são muitas vezes mais complexos que aqueles encontrados em outros modais de transporte (MACHADO, 2006). Isto se deve ao fato da ferrovia ser responsável por projetar, construir, operar e manter toda sua infra-estrutura relacionada a prestação de serviço, o que envolve a via permanente, os pátios e terminais, o material rodante, o despacho de trens, o controle de tráfego e ainda a sinalização. Ainda segundo o autor, as decisões estratégicas podem envolver investimentos de capital, como expansões da malha, construção e melhorias de pátios e terminais, aquisição de novas locomotivas e vagões, etc. As decisões táticas estão relacionadas ao planejamento de formação e circulação de trens e aos planos de manutenção. As decisões no nível operacional envolvem despacho de trens, operações em pátios e terminais, circulação de vagões vazios, programação de locomotivas e equipagens, dentre outros.

## 2.2. ANÁLISE DE CAPACIDADE

No contexto atual de competitividade as decisões gerenciais devem levar em conta prover a capacidade produtiva para a satisfação das demandas atuais e futuras, uma vez que as decisões de capacidade têm impacto em toda a empresa. Na figura 4 a seguir, uma definição de planejamento e controle da capacidade produtiva (SLACK *et. al.*, 2002).



**Figura 4 - Planejamento e controle da capacidade produtiva**  
ADAPTADO: Slack *et. al.* (2002)

Segundo o mesmo autor, a definição da capacidade de uma operação corresponde ao máximo nível de atividade de valor adicionado em um determinado período de tempo que o processo pode realizar operando em condições normais. As partes da empresa trabalhando em capacidade máxima são as restrições de capacidade de toda a operação. Organizações podem ainda operar abaixo da capacidade por haver demanda insuficiente ou por política deliberada para responder rapidamente a pedidos.

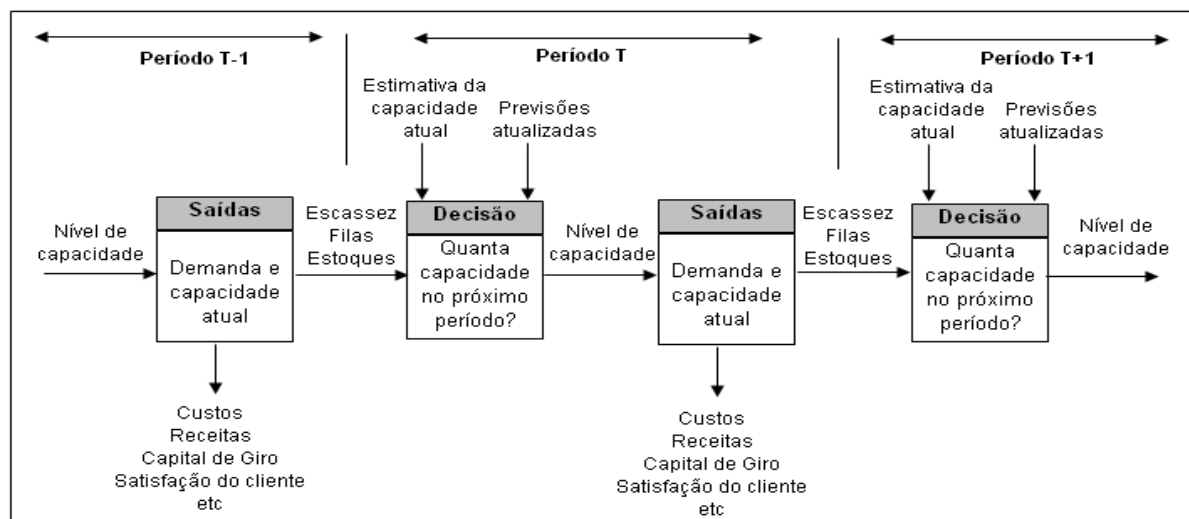
A decisão de alterar a capacidade operacional não envolve apenas a definição do tamanho do incremento, mas também quando instalar a nova capacidade. SLACK *et. al.* (2002) definem duas estratégias extremas entre as quais geralmente as empresas adotam uma intermediária, são elas: capacidade antecipada à demanda e capacidade acompanhando a demanda. A primeira envolve programar a capacidade de forma a sempre atender a demanda prevista, enquanto a segunda implica em programar de forma que a demanda seja maior ou igual à capacidade. Após a definição da capacidade de longo prazo, o objetivo passa a ser decidir como ajustar a capacidade da operação no médio prazo, o que envolve uma análise da demanda em períodos menores em que o volume de produção tenha variações. Os ajustes da capacidade de curto prazo são aquelas que irão permitir uma flexibilidade no volume produzido em curtos períodos de tempo.

Entretanto, o principal problema em medir a capacidade é a complexidade dos processos produtivos. Para tanto, SLACK *et. al.* (2002) identificam três etapas: medir os

níveis agregados de demanda e capacidade para o período de planejamento, em seguida identificar as políticas alternativas de capacidade e por fim escolher aquela mais adequada. A capacidade pode ser medida pela disponibilidade de seus recursos ou pelos *outputs* (recursos de saída produzidos). Seu uso pode ser medido pelos índices utilização e eficiência.

Os autores definem a eficiência como a razão entre o volume de produção real pela capacidade efetiva, e a utilização como o volume de produção real pela capacidade de projeto. Corrêa e Corrêa (2006) definem a eficiência como a razão entre saídas demonstradas em capacidade efetivamente disponível por saídas-padrão em capacidade efetivamente disponível, enquanto a utilização seria a razão capacidade efetivamente disponível por capacidade total teórica.

Corrêa e Corrêa (2006) afirmam que as decisões de capacidade produtiva têm importante impacto estratégico por vários motivos, entre eles por envolver grandes somas de capital investido e, conseqüentemente, se tornar muito caro e demorado uma reversão, por requerer grande antecedência até que a demanda altere os níveis de capacidade produtiva e por fim, por impactar diretamente no desempenho operacional da unidade produtiva. SLACK *et. al.* (2002) complementam que tais decisões incluem normalmente atividades como: avaliação da capacidade existente; previsões de necessidades futuras; identificação de diferentes formas de alterar a demanda e a capacidade; avaliação do impacto da decisão no desempenho operacional; avaliação econômica e tecnológica de alternativas para incremento de capacidade.



**Figura 5 - Planejamento e controle da capacidade como uma seqüência de decisões**  
ADAPTADO: Slack *et. al.* (2002)

As decisões tomadas baseadas em previsões de longo prazo são normalmente mais estratégicas e mais difíceis de reverter, além de envolverem maiores volumes de capital (CORRÊA e CORRÊA, 2006). O momento em que o incremento da capacidade é feito

também deve ser considerado. Este pode ocorrer antecipadamente ao aumento da demanda, seguindo a demanda ou mesmo sendo uma política mista, como dito anteriormente. Entre os fatores influentes nessa decisão há conveniência econômica e estratégia para competitividade no mercado.

Considerando os métodos para resposta às flutuações na demanda, SLACK *et. al.* (2002) definem três políticas para lidar com essas variações: políticas de capacidade constante, a qual ignora as flutuações e mantém as atividades constantes; política de acompanhamento da demanda, que ajusta a capacidade para refletir as flutuações da demanda; e gestão da demanda, busca mudar a demanda para ajustá-la à capacidade. Pode-se considerar ainda a adoção de políticas mistas.

### **2.2.1. TEORIA DE FILAS**

Operações que não têm como estocar os produtos, como o caso daquelas de serviços, apresentam um conjunto de diferentes problemas para o planejamento e controle da capacidade. Apesar de haver uma previsão média de demanda, não é possível estimar ao certo momentos de chegadas e tempos de processamento, tornando difícil prover a capacidade adequada. Desse modo, mesmo a capacidade média da operação atendendo a demanda média, podem ocorrer filas e tempos ociosos. O problema do planejamento e controle da capacidade nesse caso apresenta um compromisso entre o tempo de espera do cliente e a utilização do sistema (SLACK *et. al.*, 2002).

Várias características podem influenciar o comportamento dos sistemas de fila segundo Corrêa e Corrêa (2006), tais como: número de estágios sucessivos e faixas de serviços prestados por cada um; número de canais de atendimento e atribuições de cada um; disciplina de sequenciamento; processo decisório dos clientes; taxa e distribuição probabilística de chegada dos clientes e; taxa de distribuição dos tempos de atendimento dos servidores. O autor cita ainda tipos de sistemas de filas: estágios múltiplos, estágio único, estágio único com servidores paralelos, estágio único com fila única, estágio único de múltiplas filas, e filas discriminadas.

Existem vários modelos analíticos de filas hoje para modelar diversas situações, sendo possível estimar probabilidades referentes a tempos médios de permanência e ocupação dos recursos no sistema, tamanho médio de fila, entre outros. Corrêa e Corrêa (2006) dizem haver três elementos principais numa fila:

- uma população de clientes e a forma de chegada ao sistema;
- sistema de serviço que atende os clientes que chegam;
- condição dos clientes que saem do sistema (e podem voltar à fila ou não).

Os mesmos autores afirmam ainda que atualmente há outra grande ferramenta além dos modelos analíticos de teoria de filas que representa grande possibilidade de melhor

gerir a capacidade produtiva: a simulação. Através dessa técnica é possível analisar o comportamento de filas num sistema para diferentes níveis de capacidade operacional. Torna-se possível avaliar o funcionamento geral do sistema, a utilização dos recursos e os tempos em espera em filas para diferentes cenários e usar tais informações como suporte na tomada de decisão. Tal assunto será tratado a seguir.

### 2.3. SIMULAÇÃO

Pedgen (1990) *apud* Freitas (2001), apresenta simulação como: “*processo de projetar um modelo computacional de um sistema real e conduzir experimentos com este modelo com o propósito de entender seu comportamento e/ou avaliar estratégias para sua operação*”. Dessa forma, o modelo pode ser usado para prever um comportamento futuro com alterações na operação. Outra definição é dada por Banks *et. al.*: “*simulação é a imitação da operação de um processo real ou sistema ao longo do tempo*”. Segundo KELTON *et. Al.* (2004) simulação computacional refere-se ao estudo de modelos de sistemas do mundo real através de avaliação numérica utilizando softwares para imitar as operações do sistema, quase sempre ao longo do tempo.

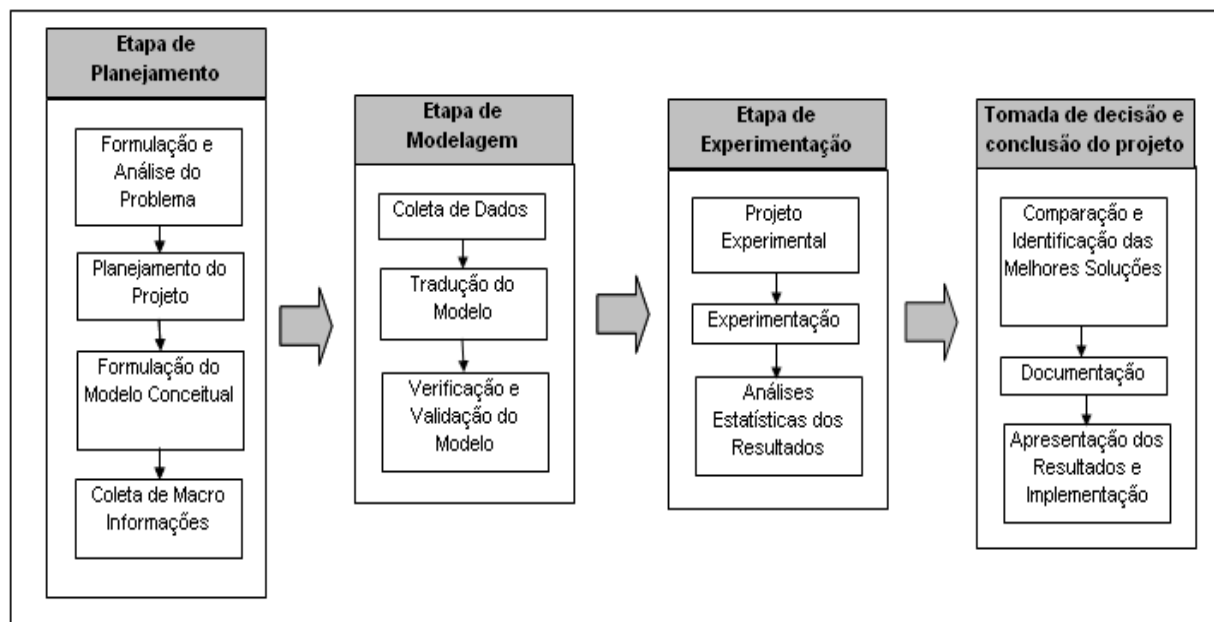
Ainda segundo Freitas (2001), a simulação permite que sejam estudados sistemas que ainda não operam, buscando o desenvolvimento de projetos eficientes antes de iniciar mudanças físicas e ainda trazendo ganhos de produtividade e qualidade. As razões mais comuns para uso de modelos simulados englobam o fato do sistema ainda não existir, ou por experimentos no sistema real envolverem grandes gastos ou não serem apropriados. Prado (2004) afirma que a logística é umas das áreas em que o uso de simulação tem se mostrado crescente, incluindo o transporte ferroviário e apresentando os diversos problemas que podem ser estudados através de técnicas de simulação.

Freitas (2001) diz ainda que uma das principais etapas é a modelagem do sistema a ser estudado para observar e entender seu comportamento. Essa atividade pressupõe criar e descrever dentro de um determinado grau de abstração que implicam em simplificações da realidade, tomando a forma de relações matemáticas ou lógicas, e constituem então um modelo. O autor classifica os modelos de simulação quanto ao tipo de processo decisório envolvido em: voltados à previsão, voltados à investigação e voltados à comparação. Quanto ao propósito de aplicação há aqueles modelos específicos (de curta utilização) e os genéricos (de longa utilização).

A figura a seguir, presente na maioria dos livros que tratam o assunto, mostra os principais passos para formulação de um estudo envolvendo modelagem e simulação. Tais passos são descritos a seguir segundo as definições de Freitas (2001).

- Formulação e análise do problema: Um estudo de simulação inicia com a formulação do problema, quando devem ser definidos claramente os propósitos e objetivos.

- Planejamento do projeto: Essa etapa avalia os recursos para realização do trabalho proposto incluindo custos e quantidades, descreve os cenários que serão investigados e elabora um cronograma das atividades a serem desenvolvidas.
- Formulação do modelo conceitual: Envolve esboçar o sistema de forma gráfica ou algorítmica definindo e descrevendo componentes, variáveis e interações lógicas.



**Figura 6 - Passos para formulação de um estudo de modelagem e simulação.**  
ADAPTADO: Freitas (2001)

- Coleta de macro-informações e dados: Inclui a coleta de fatos, informações e estatísticas derivadas de observações e arquivos históricos.
- Tradução do modelo: O modelo é codificado numa linguagem de simulação adequada. Atualmente os esforços dessa etapa puderam ser minimizados com o avanço dos softwares.
- Verificação e validação: Nessa etapa confirma-se a operação do modelo da maneira desejada e que os resultados dele obtidos possuam crédito e sejam representativos da realidade.
- Projeto experimental final: Implica no projeto de um conjunto de experimentos que produzam a informação desejada e determinam como os testes devem ser realizados.
- Documentação: É necessária para como guia para uso do modelo e dos resultados já obtidos e caso sejam necessárias modificações no mesmo.
- Apresentação dos resultados e implementação: Os resultados devem refletir os esforços em todas as etapas de desenvolvimento e envolver ainda questões técnicas, operacionais e financeiras relativas aos objetivos da organização.

Sistemas podem ser caracterizados como discretos ou contínuos, entretanto na prática, poucos são inteiramente de um desses tipos, sendo necessário identificar qual característica predomina. Sistema discreto é aquele no qual o estado das variáveis muda

somente numa série de pontos discretos ao longo do tempo. Em um sistema contínuo, o estado das variáveis muda continuamente ao longo do tempo (BANKS *et. al.*, 2004).

Freitas (2001) define os principais termos usados em modelagem e simulação:

- variáveis de estado: variáveis cujos valores definem o estado do sistema; constituem o conjunto de informações necessárias à compreensão do que ocorre em um determinado instante em relação aos objetos de estudo.
- eventos: acontecimentos programados ou não que provocam mudanças de estado no sistema.
- entidade: pode ser dinâmica, movendo-se através do sistema, ou estática, servindo a outras entidades.
- atributos: características próprias das entidades; os valores dos atributos é que as diferenciam entre si.
- recursos: entidades estáticas que fornecem serviços àquelas dinâmicas, podendo servir mais de uma ao mesmo tempo; podem ter vários estados como ocupado, livre, bloqueado, indisponível, etc.
- fila: ocorre quando um recurso não atende as entidades dinâmicas, as quais aguardam em uma fila. As filas podem ser processadas de acordo com políticas operacionais adotadas.
- atividade: corresponde a um período de tempo pré-determinado.
- espera: período de tempo sobre o qual não se tem controle, como exemplo há espera por causas inesperadas.

A simulação de evento discreto é a modelagem de sistemas nos quais o estado das variáveis sofre alterações somente em uma série discreta de pontos no tempo, como dito anteriormente. A simulação dos modelos pode ser analisada por métodos analíticos ou por métodos numéricos, nos quais o busca-se “rodar” o modelo ao invés de resolvê-lo. Assim, é gerado um histórico artificial do sistema e observações são coletadas para serem analisadas e estimar medidas reais de performance do sistema (BANKS *et. al.*, 2004). O objetivo de um modelo de uma simulação discreta é o de retratar as atividades nas quais as entidades participam e, assim, observar algo sobre o comportamento dinâmico do sistema. O estado do modelo se mantém constante entre eventos várias vezes consecutivas, e um retrato completo do estado dinâmico do modelo é obtida através do avanço da simulação de um evento para o próximo (BANKS, 1998). O autor diz ainda haver quatro possibilidades de formulação: definindo as mudanças de estado que ocorrem em cada evento no tempo; descrevendo o processo através do qual as entidades fluem no modelo; descrevendo as atividades nas quais as entidades participam; descrevendo os objetos e as condições que mudam o estado dos objetos.

## **Capítulo III**

### **DESCRIÇÃO**

#### **2.1. A COMPANHIA MRS LOGÍSTICA**

A malha da MRS Logística S.A., concessionária ferroviária que opera a chamada “Malha Sudeste” da Rede Ferroviária Federal, tem aproximadamente a 1.643 km de linhas nos estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo, apresentando quatro linhas principais: Linha do Centro, Ferrovia do Aço, Linha de São Paulo e a Linha Santos. Além disso, possibilita alternativas de transporte para outras regiões através da interligação com as ferrovias: Ferrovia Centro-Atlântica (FCA), Estrada de Ferro Vitória-Minas (EFVM) e América Latina Logística (ALL).

O foco de suas atividades está no transporte ferroviário de cargas atendendo a indústria siderúrgica, cimenteira e da construção civil, mineração, agrícola, transporte de contêineres, carvão, coque, granéis minerais, extração vegetal e celulose, entre outras mercadorias. As atividades focam na logística integrada, envolvendo planejamento, multimodalidade e transit time definido, implicando em uma operação de logística completa. A programação anual de trens é realizada a princípio de acordo com a previsão de demanda e disponibilidade de recursos como locomotivas e vagões e capacidade da via férrea.

O transporte do tipo *Heavy Haul* apresenta características como grandes volumes e grande dependência do modal ferroviário. Consiste em cargas de maior volume como produtos de minério de ferro, bauxita e carvão e coque para siderurgia, representando cerca de 72% do volume transportado pela companhia. Para esse tipo de transporte são formados trens com apenas um produto, circulando num único sentido com quatro fases: carga, circulação do trem carregado, descarga e circulação do trem vazio. Sendo assim, estes trens não possuem horários fixos, partindo após a carga ou descarga.

O transporte do tipo Carga Geral tem características diferenciadas como menores volumes e produtos distintos. Envolve diversos produtos e clientes, o que implica em pontos de carga e descarga ao longo de todo o trecho de circulação. Estes trens precisam de horários fixos para partida e chegada e para paradas intermediárias, exigindo a elaboração de uma grade de horários e locais para as paradas desdobrada de acordo com a demanda.

#### **2.2. A OPERAÇÃO DE TRANSPORTE**

O processo de planejamento e programação do transporte na MRS Logística envolve diversas áreas da companhia e conta com um sistema logístico que concentra e operacionaliza as várias atividades referentes ao planejamento e ao controle da produção. Abrange desde o planejamento e distribuição da demanda mensal de transporte até a parte

operacional propriamente dita, contemplando toda a operação de transporte a partir da criação de um trem até a sua chegada na estação de destino. Possui interações com diversas áreas além de possibilitar aos clientes a consulta do posicionamento de trens através da Internet.

Há um conjunto de passos de rotinas e atividades que são necessárias para a definição de prioridade dos trens visando o cumprimento do programa de transporte que inclui: recebimento, análise, ajuste, aceite e reajuste do programa de transporte, com posterior definição de prioridade de trens. Estas atividades propiciam a compatibilização do solicitado no ajuste diário da programação semanal (demanda do cliente) com a realidade da produção.

O transporte compreende o conjunto de atividades necessárias para transportar cargas de um ponto de origem a um ponto de destino de acordo com o programa. Dois subconjuntos de atividades devem ocorrer concomitantemente: circulação e condução do trem. A primeira é o deslocamento do trem ao longo da malha ferroviária, por meio de um conjunto de licenciamentos e atividades visando o cumprimento do programa. As atividades e os licenciamentos da circulação do trem são operacionalizados por meio de comandos centralizados e ocorrem simultaneamente à condução do trem. A segunda envolve o conjunto de atividades executadas pelo maquinista para conduzir um trem ao longo da malha ferroviária seguindo o programa de transporte.

A disponibilização de recursos pode ser entendida como a correta alocação de locomotivas e de maquinistas durante a produção do transporte visando a movimentação de vagões. As alocações são realizadas obedecendo-se a uma prioridade definida no momento do aceite do programa de transporte do dia, estando condicionadas à disponibilidade de locomotivas e às escalas de maquinistas.

A alocação de equipagem envolve monitorar e alocar maquinistas aos trens para o cumprimento da demanda de transporte e das atividades programadas. A alocação ocorre por meio do monitoramento constante do movimento de forma centralizada e do acionamento regionalizado de maquinistas de acordo com a necessidade do programa de transporte.

A alocação de locomotivas engloba a disponibilização e a alocação de locomotivas para o cumprimento da demanda de transporte e das atividades programadas. Inclui atividade, local, data e hora de alocação. Há um plano mensal de locomotivas que visa dimensionar a quantidade de máquinas necessárias para a realização do plano de produção. Também há um sistema na companhia que permite ao operador do centro de locomotivas visualizar a posição e a situação de cada locomotiva na malha da companhia, incluindo aquelas em manutenção nas oficinas. O operador do centro de locomotivas define a alocação de máquinas de acordo com o programa de transporte estrategicamente para

anexá-las nos diversos pontos de solicitação, sempre visando o atendimento da demanda e a prioridade de trens.

A formação de trens pode ser entendida como o conjunto de atividades necessárias para formar um trem ocorrendo nos diversos pátios ao longo da malha. As atividades de liberação do trem para a circulação e encerramento do trem objetivam a formação e liberação do trem na sua origem para a circular na malha, as manobras programadas nos pátios e o encerramento do trem no seu destino, propiciando o cumprimento da demanda de transporte e das atividades programadas.

A programação de pátio refere-se à programação das atividades de pátios e terminais ao longo da malha, com o intuito de programar: o recebimento de trens; a entrega de vagões para os terminais; o controle de vagões dentro dos terminais; a retirada de vagões dos terminais; a formação e a partida de trens. O atendimento a terminais corresponde às atividades de entrega, controle e retirada de vagões dos terminais e/ou dos clientes para carga e descarga nos diversos pátios ao longo da malha.

A chegada do trem ao destino engloba todas as atividades necessárias ao encerramento de uma demanda de transporte e, basicamente, referem-se aos procedimentos de disponibilização de vagões para carga e descarga nos terminais, com o consequente encerramento do trem no pátio.

### **2.3. A REGIÃO DE SÃO PAULO**

O minério de ferro é hoje responsável por 60% das viagens realizadas na cremalheira, grande gargalo na malha da MRS. A carga de minério de ferro transportada para o estado de São Paulo é destinada à Usiminas Cubatão (antes COSIPA) atualmente numa média de cerca de 11 trens semanais, chegando ao seu destino via CPTM e via cremalheira.

O transporte de Carga Geral envolve a movimentação de blocos de vagões de diversas origens para diversos destinos e somente com uma junção destes blocos é que se pode obter um tamanho mínimo previsto para os trens. Diariamente diversos trens de Carga Geral circulam pelo sistema cremalheira (descendo e subindo) que está na rota ferroviária entre as origens e destinos. Este tipo de trem é baseado numa grade de horários que especifica a hora e o local de partida, os pontos e tempos de parada e uma estimativa da hora de chegada ao seu destino. No entanto, em virtude das anomalias da operação podem atrasar o horário de partida, quanto até mesmo serem suprimidos.

O serviço de trens expressos é caracterizado pelo compromisso extremo com horários a fim de garantir a previsibilidade e rapidez exigida pelos clientes. A demanda por este tipo de transporte vem aumentando de maneira expressiva, fazendo circular diariamente diversos trens pela cremalheira e pelo trecho CPTM. Não existem prioridades

de passagem quando comparamos trens expressos e trens de minério de ferro. No caso de um cruzamento ao longo da malha, CPTM ou de fila na cremalheira, o cenário do momento irá indicar qual trem deve ter a preferência de passagem e/ou descida. Tanto a importância da pontualidade dos trens expressos quanto a importância do abastecimento de minério na Usiminas Cubatão devem ser levados em consideração e uma decisão assertiva deve ser tomada.

O sistema cremalheira consiste fisicamente num sistema de tração de 8,312 km localizado entre os pátios de Paranapiacaba (IPA) e Raiz da Serra (IRS) que conta com um terceiro trilho dentado necessário diante das características da topografia local. O fluxo na cremalheira ocorre em ambos sentidos e engloba vagões vazios e carregados. O sistema apresenta restrições de peso (500t) e comprimento (200m) devido a distância entre sinalizações, havendo então necessidade de fragmentar as composições

O Porto de Santos constitui um dos principais acessos econômicos no país. Está localizado no litoral do Estado de São Paulo, estendendo-se ao longo de um estuário limitado pelas ilhas de São Vicente e de Santo Amaro a 2 km do Oceano Atlântico. A malha ferroviária da MRS chega tanto à margem direita quanto à margem esquerda do Porto de Santos, sendo utilizada principalmente no transporte de produtos agrícolas e industriais. Para se ter acesso à Baixada Santista e chegar ao porto de Santos é necessário que os trens passem pelo trecho da CPTM e ainda pelo trecho da cremalheira. Isso traz a necessidade de haver uma integração entre esses diferentes sistemas para o planejamento da produção.



**Figura 7 - Mapa da região de São Paulo.**

ADAPTADO: MRS Logística (2006)

## **2.4. A CREMALHEIRA**

O sistema cremalheira consiste fisicamente num sistema de tração de 8,312 km localizado entre os pátios de Paranapiacaba (IPA) e Raiz da Serra (IRS) que conta com um terceiro trilho dentado, necessário diante das características da topografia local. Nesse trecho circulam locomotivas que contêm além de eixos comuns um sistema de engrenagem alimentado por eletricidade. Dessa maneira, todo carregamento que envolva o porto de Santos, um dos acessos mais importantes economicamente, passa por esse trecho.

O fluxo na cremalheira ocorre em ambos sentidos e engloba vagões vazios e carregados. Para tanto, há 11 locomotivas adaptadas ao sistema, estando 8 operando continuamente enquanto 3 encontram-se em manutenção. Cada trem é composto por uma dupla de locomotivas rebocando 500t. O sistema apresenta restrições de peso (500t) e comprimento (200m) devido a distância entre sinalizações, havendo então necessidade de fragmentar as composições em lotes normalmente de 4 ou 5 vagões. Assim, os vagões ficam preparados em uma das 5 linhas secundárias de IPA ou daquelas de IRS. Após se deslocar pela cremalheira, os vagões são alocados em outras composições em Campo Grande (ICG) na subida ou em Piaçaguera (IPG) na descida.

### **2.4.1. O PROJETO DA ESTEIRA TRANSPORTADORA**

Há ainda outro projeto em discussão de grande importância na região de São Paulo da companhia MRS Logística a ser considerado nesse trabalho. Tal projeto envolve a construção de uma esteira transportadora de cerca de 18 km de extensão ligando o pátio de Campo grande (ICG), na região do ABC paulista, ao terminal da Usiminas Cubatão, em Cubatão. A esteira aproveitaria o leito funicular da ferrovia e já saiu a licença ambiental para construção. O investimento previsto para conclusão da esteira está em fase de reavaliação e depende do volume de transporte a ser contratado pela Usiminas Cubatão, a qual passa por programa de ampliação de produção. Essa modalidade nova de transporte na companhia traria reduções de custos não só para a MRS mas também para a usina. A operação da esteira aumentaria a capacidade no volume de transporte da MRS nos dois sentidos de circulação já que cerca de 70% do minério destinado à Usiminas Cubatão seria transportado por esse meio e liberaria os trilhos da MRS para o transporte de outras cargas, como produtos agrícolas e containeres, podendo duplicar a capacidade de atendimento ao porto de Santos.

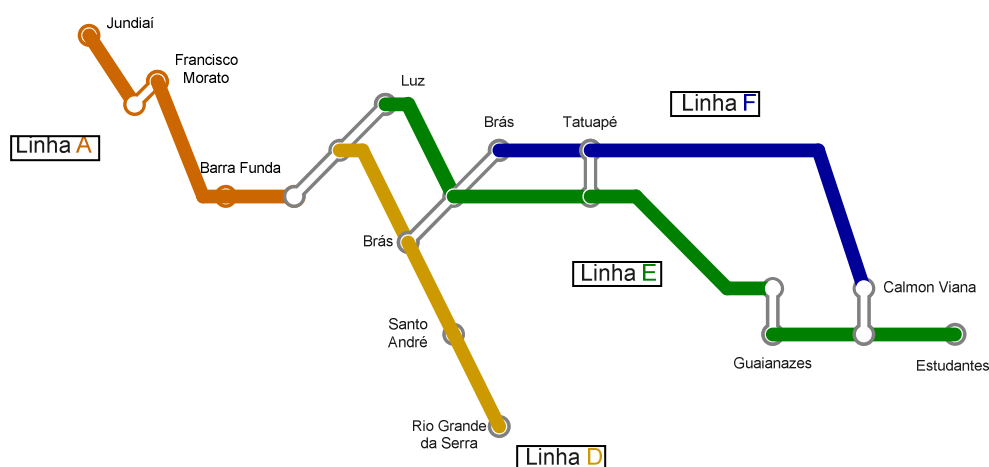
## **2.5. O TRECHO CPTM**

A CPTM, Companhia Paulista de Trens Metropolitanos, é a operadora do sistema de trens para o transporte suburbano de passageiros na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), cobrindo uma malha de 253,2 km de trilhos e com 83 estações. Esse sistema,

interligado às linhas do Metrô de São Paulo, corta 22 municípios da região metropolitana e transporta cerca de 1 milhão e 300 mil passageiros diariamente. São cerca de 349 trens unidade elétricos e 1119 carros, que realizam cerca de 1638 viagens por dia. Atualmente a operação de trens metropolitanos da CPTM está organizada em seis linhas, conforme a tabela 1, recentemente com os nomes modificados. As linhas permitem cruzar a RMSP, interligando as malhas da MRS nas regiões do Vale do Paraíba, Baixada Santista, e Jundiaí (e também Campinas, através da malha da ALL), e permitem ainda acesso a clientes localizados à margem da ferrovia na RMSP.

<b>Linha 7 – Rubi, antiga linha A</b>	<b>(Luz-Francisco Morato-Jundiaí)</b>
<b>Linha 8 – Diamante, antiga linha B</b>	<b>(Júlio Prestes-Itapevi-Amador Bueno)</b>
<b>Linha 9 – Esmeralda, antiga linha C</b>	<b>(Osasco-Autodromo)</b>
<b>Linha 10 – Turquesa, antiga linha D</b>	<b>(Luz-Rio Grande da Serra)</b>
<b>Linha 11 – Coral – Expresso Leste, antiga linha E</b>	<b>(Luz-Guaianazes-Estudantes)</b>
<b>Linha 12 – Safira, antiga linha F</b>	<b>(Brás-Calmon Viana)</b>
<b>Linha 13 – Jade – Trem de Guarulhos</b>	<b>(em projeto)</b>
<b>Linha 14 – Ônix – Expresso Aeroporto</b>	<b>(em projeto)</b>

**Tabela 1 - Nomenclatura das linhas da CPTM**  
ADAPTADO: MRS Logística (2008)



**Figura 8 - Linhas da CPTM**  
ADAPTADO: MRS Logística (2006)

Há um contrato entre as companhias que regulamenta as restrições de passagem incluindo peso, locomotivas, quantidade de trens, horários, entre outros. A base da validação deste compartilhamento é a adoção dos conceitos de interferência e desempenho dos trens de uma operadora na linha da outra. A MRS pode circular seus trens e locomotivas entre todos os intervalos de trens de passageiros conforme grade de horários de compartilhamento. O tráfego fica limitado ao período noturno e algumas janelas do período diurno, nos horários entre períodos de pico de movimento de passageiros, quando o

intervalo entre trens é maior. No caso de restrições à circulação dos trens de carga, em linhas sob gestão operacional da CPTM, a mesma envida esforços para compensar, seja no mesmo dia ou em dias sucessivos, as demandas do transporte de carga. Tal acordo será discutido na seção seguinte. O tráfego na malha da CPTM está restrito ainda a locomotivas com sistema ATC (Automatic Train Control) que garante a segurança operacional no compartilhamento entre trens de carga e metropolitanos.

O problema do sequenciamento de trens na CPTM consiste em determinar a programação de cada um dos trens para cada janela, ou seja, origem, destino, horário de partida e chegada, buscando atender toda a programação e utilizando o menor número de locomotivas. Além disso, deve-se buscar posicionar as locomotivas ao final da janela nas quantidades necessárias em pontos de origem de carga do período seguinte a fim minimizar o deslocamento de escoteiras, caracterizando percurso improdutivo.

A programação é realizada para um horizonte de dois períodos subseqüentes, dia e noite, em que é permitido o tráfego de trens de carga, respeitando-se as restrições impostas pelo acordo vigente com a CPTM. Considera-se conjuntamente dois períodos, uma vez que o posicionamento das locomotivas que tracionam os trens ao final de uma das janelas é decisivo para o transporte de mais vagões nessa malha, uma vez que deslocar locomotivas escoteiras implicará uma perda de tempo importante dentro de uma janela de tempo muito restrita.

Para cada conjunto de vagões que precisam ser transportados são conhecidos: tipo de carga a ser transportado, tipo de vagão, quantidade de vagões a serem movimentados, local e horário em que os vagões estarão disponíveis, destino, horário máximo de chegada no destino, peso por vagão e total do conjunto, trechos que compõem o trajeto da origem ao destino, os pontos extremos onde pode ficar aguardando a próxima janela, número de locomotivas necessárias em cada trecho do trajeto, comprimento do trem, número máximo de locomotivas que pode ser alocada ao trem, entre outros.

São também conhecidas as locomotivas disponíveis para tracionar os vagões a serem movimentados e a localização de cada uma delas no início do período de programação, bem como o horário em que cada uma delas estará disponível. Para cada trecho e sentido são conhecidos: horário de liberação em cada janela, o horário mais tarde que o trem pode partir e o tempo de viagem. Caso não seja possível movimentar todas as cargas até os seus pontos de destino em um dos períodos, é preciso buscar a programação que proporcione o maior avanço dos trens, tendo em vista que os diferentes vagões a serem movimentados podem ter diferentes prioridades. Uma outra decisão a ser tomada é o eventual agrupamento de vagões para serem movimentados conjuntamente em parte ou todo o percurso dos trens, já que um número reduzido pode não formar um trem.

### **2.5.1. CONTRATO COM A CPTM**

MRS e CPTM assinaram recentemente, em fevereiro de 2008, novo contrato de concessão regulamentando a operação com duração de mais cinco anos. O convênio conta com 21 cláusulas incluindo: objeto, diretrizes gerais, condições operacionais, bens patrimoniais e outras despesas, serviços e responsabilidades, plano de apoio entre as empresas frente à situação de emergência, meio ambiente, segurança do trabalho, fiscalização, tarifa de direito de passagem, forma de pagamento, recursos financeiros, reajustamento de valores, segregação das operações, disposições transitórias, gestores do convênio, anexos, penalidades, prazo, disposições gerais, foro. Há ainda anexos definindo normas técnicas e procedimentos operacionais, condições de compartilhamento, quadro de áreas da MRS utilizadas pela CPTM e aquelas da CPTM utilizadas pela MRS, projetos de expansão e modernização dos serviços da CPTM, volumes do plano de negócios da MRS com circulação pela CPTM no período de 2008 a 2012 (incluem mercadorias como açúcar, areia, bauxita, cal, celulose, cimento, clínquer, container, enxofre, escoria, ferro gusa, madeira, minério de ferro, petroquímicos, polietileno, produtos siderúrgicos, produtos químicos, soja, farelo de soja e milho, sucata, trigo).

No contrato foram definidas ainda diretrizes para formalização dos aditivos a serem firmados referentes ao projeto de segregação das operações da MRS nas linhas sob gestão operacional da CPTM e das operações da CPTM nas linhas sob gestão operacional da MRS, visando sustentar os planos de crescimento do transporte ferroviário de cargas e de passageiros na região de forma coordenada, a fim de que haja interferência mínima possível nas operações de cada companhia.

No que diz respeito às condições de compartilhamento, fica definido que a MRS pode circular com seus trens nos intervalos dos trens de passageiros de acordo com os períodos estipulados para cada trecho, mostrados nas tabelas do anexo II. As velocidades e tempos de percurso dos trens de carga devem ser compatíveis com os perfis geométricos da via garantindo a segurança operacional. A apuração e análise das interferências serão baseados no monitoramento e registros das ocorrências operacionais dos centros de controle de cada empresa. Caso haja interferência na circulação dos trens da CPTM pela MRS em um determinado intervalo de compartilhamento, haverá penalização com a supressão de uma faixa de circulação na linha da interferência a título de compensação. O acesso à circulação de trens de carga nas linhas da CPTM terá prazo de 30 minutos para ser atendido. No caso de restrições à circulação dos trens de carga, seja no atraso do licenciamento ou em ocorrências que implicam a impossibilidade de chegar ao seu destino nas linhas sob gestão operacional da CPTM, esta poderá compensar a quantidade de faixas acordadas para o trecho determinado. Havendo problemas de caso fortuito ou de força

maior que interfiram na circulação dos trens metropolitanos ou nos trens de carga, não serão aplicadas as regras estabelecidas.

As locomotivas autorizadas para composição de trens de carga em circulação nas linhas 7, 10, 11 e 12 deverão ter seu peso máximo de até 30 ton/eixo (trinta toneladas por eixo) e ser equipadas com interface eletro-pneumático (ATC), assim como os vagões autorizados para composição de trens de carga deverão ter mesmo peso máximo por eixo. As dimensões máximas dos trens operados pela MRS, nas quais estão inclusas as locomotivas, são definidas conforme as tabelas do anexo III.

## **2.6. O PROJETO DA SEGREGAÇÃO DE LINHAS**

O projeto, levantado nos anos 90 pela Rede Ferroviária Federal, ressurgiu como alternativa para solucionar o congestionamento de trens na zona urbana de São Paulo com apoio da MRS, ANTT, governo paulista e parte do governo federal. Trata-se da duplicação dos trilhos usados principalmente para transporte de passageiros, e em pequenos períodos ao longo do dia e na madrugada para trens de carga, trazendo grande perda de produtividade para a MRS. Tal projeto englobaria duas fases: a primeira em um trecho de 11 km entre Suzano e Engenheiro Manoel Feio, denominada segregação leste, e a segunda, a segregação sudeste, entre Mooca e Rio Grande da Serra em um trecho de 33 km e de Mooca a Jundiaí com 65 km.

A praxe atual do setor é a do tráfego mútuo, na qual uma operadora transporta uma carga em sua malha e transfere essa para outra ao atingir a fronteira entre as malhas. É possível em diversos casos seguir sem essa transferência, o que depende de um acordo comercial entre as operadoras. A alternativa a essa prática é o direito de passagem, em que os trens de uma operadora podem entrar nos trilhos de outra, pagando pela depreciação da via. Pelos contratos de concessão o tráfego mútuo é a regra geral e o direito de passagem só pode ser praticado na "impossibilidade" de que uma concessionária possa atender à demanda da outra. Entretanto, diante das perspectivas de crescimento de ambas companhias torna-se essencial uma busca por alternativas. MRS e CPTM definiram em contrato diversos aspectos em relação ao projeto de segregação, entre eles:

- a) Cronograma de atividades relacionadas à segregação destacando-se os prazos para desenvolvimento dos projetos, realização das obras, licenciamentos, desapropriações e demais atividades para execução deste projeto;
- b) Quadro de investimentos destacando desapropriações, desenvolvimento de projetos, execução das obras, mitigações ambientais e interferências;
- c) Responsabilidades, compromissos e atribuições das ações e atividades de cada companhia para a concretização deste projeto;

- d) Prazo de implementação da segregação, o qual considera o horizonte de dezembro de 2009 para a conclusão das obras no trecho entre Manoel Feio e Suzano, e de dezembro de 2010 para a conclusão das obras no trecho entre Rio Grande da Serra e Moóca;
- e) Estudos e projetos funcionais pertinentes à segregação a serem desenvolvidos pela MRS e incorporados aos aditivos;
- f) Compromissos quanto ao aporte de recursos para as ações pertinentes à segregação nos trechos entre Manoel Feio e Suzano e entre Mooca e Rio Grande da Serra;
- g) Identificação das áreas ferroviárias de interesse entre as companhias e das ações necessárias junto a terceiros para regularização fundiária visando à implantação deste projeto de segregação;
- h) Plano de implantação e método construtivo destacados por trecho;
- i) Ações institucionais e legais necessárias à consecução deste projeto, a exemplo de convênios com municípios, licenciamentos, decretos e outras;
- j) As ações necessárias junto a terceiros para eliminação de interferências, a exemplo de dutos e outras;
- k) As penalidades pelo descumprimento dos cronogramas e atividades que serão desenvolvidas;
- l) O modelo operacional decorrente das intervenções e dos compromissos assumidos pelas partes.

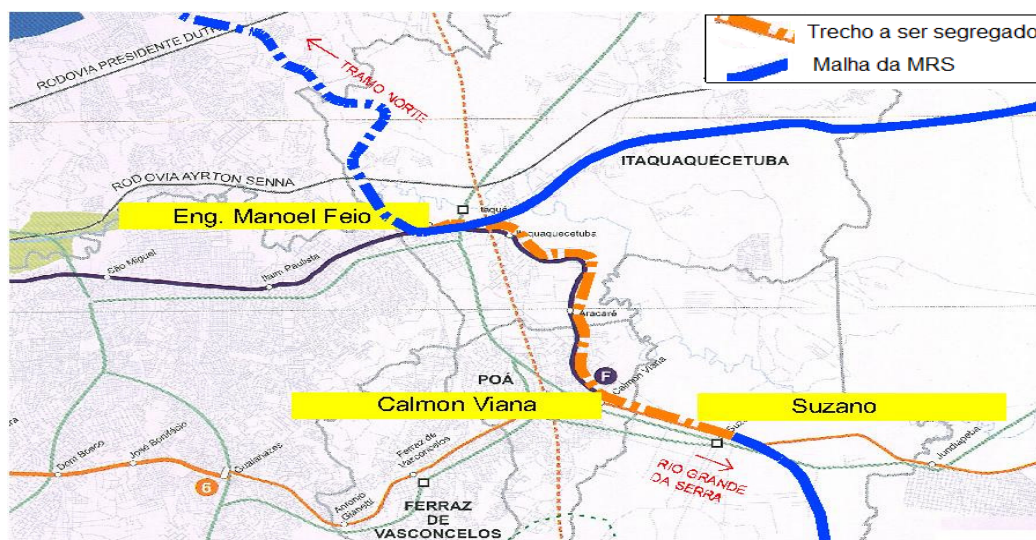
O aditivo que trata do trecho entre Engenheiro Manoel Feio e Suzano conta com as seguintes atividades preliminares segundo a MRS:

- Certidões de prefeitura dos municípios de: Itaquaquetuba, Poá e Suzano;
- Licenciamento ambiental: EAS; LP; LI;
- Levantamento topográfico;
- Sondagem geotécnica;
- Projetos executivos;
- Contratação de obras;
- Planejamento desapropriação;
- Estimativa de prazo com início no momento da assinatura do aditivo e final em dezembro de 2008.

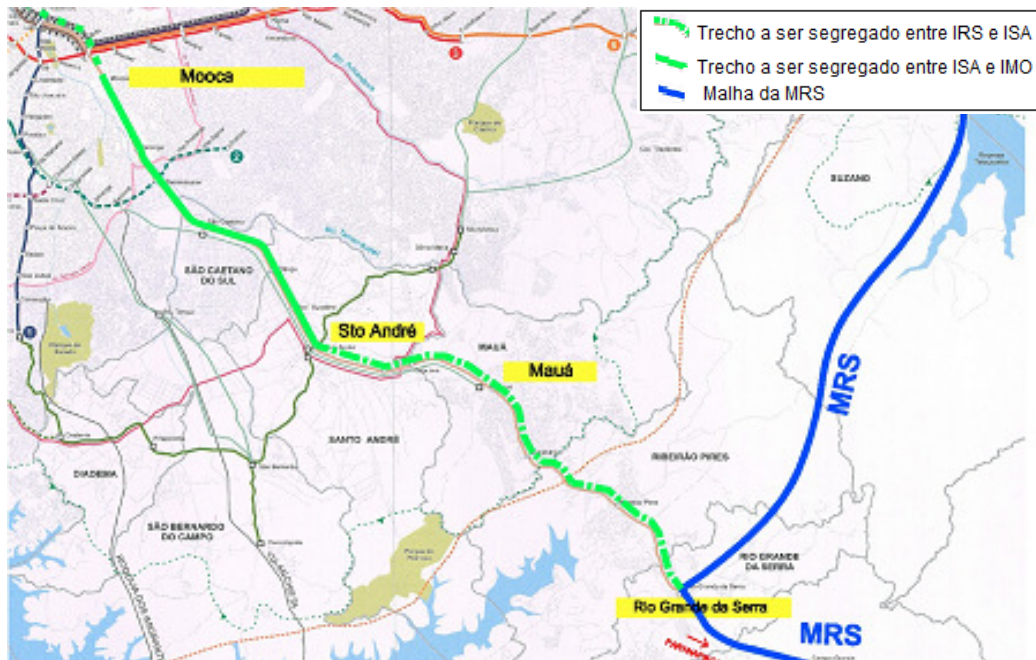
No trecho de 7km entre Manoel Feio e Calmon Viana estão planejados para 2009 projetos de desapropriação, recomposição viária e reurbanização, remanejamento de rede aérea e sinalização, construção da via permanente da MRS, construção de passarelas e pontilhões e fechamento de faixa. Já no trecho entre Calmon Viana e Suzano com extensão de 4 km, estão planejados para até 2010: desapropriação com lucro cessante, recomposição viária, remanejamento da rede aérea e sinalização, construção da via

permanente da MRS, construção de viaduto para transposição em Suzano, construção de passarelas e pontilhões e fechamento de faixa.

Na figura 9 a seguir é possível visualizar o trecho que será estudado neste trabalho e, na figura 10 o trecho entre Mooca e Rio Grande da Serra que também faz parte do projeto, mas não entra no escopo deste trabalho.



**Figura 9 - Trecho entre Manoel Feio e Suzano**  
ADAPTADO: MRS Logística (2008)



**Figura 10 - Trecho entre Rio Grande da Serra e Mooca**  
ADAPTADO: MRS Logística (2008)

## 2.7. PRINCIPAIS FLUXOS VIGENTES

Os principais fluxos vigentes englobarão aqueles com maior volume e impacto na produção da companhia. Dentre os principais grupos envolvidos nos trechos da CPTM

atualmente podemos citar produtos siderúrgicos CSN e Usiminas Cubatão, minério de ferro Usiminas Cubatão, gusa e sucata Gerdau, soja, areia, bauxita e celulose. Há aqueles que passam atualmente pelo trecho entre os pátios de Manoel Feio e Suzano e aqueles que terão opção de passagem com a segregação das linhas.

### **2.7.1. DESENHOS OPERACIONAIS**

Um desenho operacional consiste de diversas informações que visam descrever as características operacionais de um fluxo de transporte. Dentre as principais informações há extensão dos trechos de via permanente que serão utilizados; o tipo e a quantidade de vagões e locomotivas; tempos de ciclo (tempo de carga, descarga e trânsito), características do processo de carga e descarga e padrão de consumo de combustível. Essas características são transformadas em parâmetros operacionais que projetam os custos a serem incorridos neste fluxo. Vários fluxos poderão ter os desenhos operacionais modificados com o projeto da segregação das linhas, incluindo menor necessidade de recursos como locomotivas e novos pontos para realização de atividades como abastecimento e troca de equipagem.

### **2.7.2. ACORDOS OPERACIONAIS**

A MRS tem que obedecer a diversos acordos operacionais com clientes da região de São Paulo, principalmente com a Usiminas Cubatão, onde não pode faltar minério de ferro. A regra padrão de transporte e faturamento implica em uma blocagem mínima de 10 vagões por destino, com no mínimo 500 toneladas por bloco. Os grupos de carga geral que serão atendidos baseados nessa regra incluem: gusa e siderúrgicos, soja/farelo de soja/milho, trigo, açúcar, sal, enxofre/fertilizantes, areia, madeira. Aqueles que atuarão em regime de exceção são: Sid. C.S.N. com blocagem mínima de 5 vagões por destino não podendo ser faturadas menos de 500 toneladas por dia; Sid. Usiminas Cubatão com blocagem mínima de 5 vagões por destino com faturamento mínimo de 10 por dia, não podendo ser menos de 500 toneladas; linhas de container Santos–Campinas, Santos-São Paulo e Santos-Vale do Paraíba com blocagem mínima de 10 TEUs (*twenty-foot equivalent units*) por destino; celulose com faturamento diário mínimo de 32 vgs.

## **2.8. THP – TREM HORA PARADO**

O THP é um indicador que mede o “Trem Hora Parado”, o qual pode ser estratificado em diversas classificações, tais como THP por atividade ou por pátio.

As seguintes atividades sofrem influência da operação da CPTM e provavelmente terão o THP reduzido com a segregação da operação:

- **Aguardar - Licença de outra Ferrovia:** É utilizado para registrar a parada dos trens que aguardam licença para circular na malha de outra ferrovia de carga. A situação de aguardar licença pode ser em pátio de intercâmbio ou pátio no interior da malha de outra ferrovia. Nestes eventos também estão incluídos trens que aguardam licença para circular na CPTM, estando já atingido o horário de faixa (caso este horário não tenha ainda acontecido, deve-se usar a atividade Aguardar Faixa Metropolitana).

- **Aguardar – Faixa Metropolitana:** Utilizar este evento para registrar paradas de trens em decorrência de preferência de trens Metropolitanos da CPTM (São Paulo após Manoel Feio) aguardando faixa de circulação.

- **Aguardando Horário de Grade:** Este código deve ser usado somente enquanto um trem, formado e liberado, não puder ser antecipado, para não causar congestionamento em outro pátio, por ocasião da chegada antecipada em relação ao horário previsto em grade. Todos os recursos equipagem, locomotivas e vagões/ documentos devem estar disponíveis de tal forma que, no horário programado de partida, o trem possa circular imediatamente.

- **Defeito de Sinalização em Outra Ferrovia:** Utilizar esta atividade para caracterizar trens autorizados a circular para outra ferrovia, mas ficam impedidos de circular por problemas na sinalização.

As atividades a seguir serão analisadas para verificar se houve redução com a segregação da operação da CPTM.

- **Aguardando Acesso para Descida/Subida na Cremalheira:** Tempo decorrido entre o momento de parada de um trem em pátio (IPA, ICG, IRS ou IPG), devido a restrição imposta para circulação pela programação de acesso à Cremalheira e a partida deste trem do pátio.

- **Aguardar – Pátio Congestionado MRS:** É utilizado para justificar a parada de um trem que tem sua circulação interrompida em função do congestionamento de um pátio. O congestionamento de um pátio pode ser ocasionado por vários motivos, como : posicionamento de vagões para Cliente, formação de um trem, trens em atividades de pátio. Esta atividade não explica a parada de trens no pátio em que se encontra, aguardando atividade dele ou de outro trem nesse mesmo pátio. Este evento pode ser usado para trens que não tenham PAT no pátio em questão, mas que tenham suas circulações afetadas pelo congestionamento. Caso a parada de um trem, que aguarda o descongestionamento de um pátio, cause a parada de outros, estas paradas, também devem receber a codificação de pátio congestionado.

- **Anexar ou Retirar Locomotiva:** Evento para registrar movimentação de locomotivas em pátios para anexação ou desanexação das mesmas no trem.

- **Anexar ou Retirar Vagão:** Evento para registrar movimentação de vagões em pátios para anexação ou desanexação dos mesmos no trem.

## 2.9. CICLOS

Na ferrovia, o ciclo de produção é definido como o processo que tem início em uma etapa anterior ao carregamento dos vagões e término quando estes vagões atingem novamente o ponto inicial após serem descarregados. No caso da carga geral, mede-se o ciclo para os vagões, uma vez que esse número é variável nos trens desse tipo de carga e esses trens levam vagões de vários clientes de diferentes origens para diferentes destinos. As macro-etapas do ciclo são: carga, *transit time* carregado, descarga e *transit time* vazio. Contudo, estas sofrem uma série de subdivisões para análises detalhadas, mostradas a seguir:

SIGLA	ETAPA	DESCRIÇÃO
ACM	Antes da Carga MRS	É o tempo acumulado desde a chegada do vagão vazio no pátio de destino até a entrega ou disponibilização deste para o cliente.
ACC	Antes da Carga Cliente	É o tempo acumulado desde a disponibilização do vagão vazio para o cliente até a chegada deste no terminal do cliente.
CAR	Carga	É o tempo acumulado desde a entrada do vagão no terminal do cliente, até sua disponibilização carregado.
DCM	Depois da Carga MRS	É o tempo acumulado desde o recebimento pela MRS do vagão carregado até a partida do vagão carregado.
TTC	Transit Time Carregado	É o tempo acumulado desde a partida do vagão carregado do pátio de origem ou do Pátio de Intercâmbio até a chegada do vagão no pátio de destino (pátio de entrega ao cliente). Este indicador pode ser analisado de forma mais detalhada através dos seguintes indicadores: Transit-Time Carregado Circulando (TCC) e Transit-Time Carregado Parado em Trem (TCT) e Transit-Time Carregado Parado em Pátio (TCP).
VCC	Viagem Carregado Cliente	É o tempo de viagem em que o vagão carregado ficou parado em algum pátio antes do pátio de destino do fluxo e que a responsabilidade é do cliente.
ADM	Antes da Descarga MRS	É o tempo acumulado desde a chegada do vagão carregado no pátio de destino do fluxo, até a disponibilização, entrega ou retirada deste para o cliente.
ADC	Antes da Descarga Cliente	É o tempo acumulado desde a disponibilização do vagão carregado para o cliente até a chegada deste no terminal do cliente.
DES	Descarga	É o tempo acumulado desde a entrada do vagão no terminal do cliente, até a sua disponibilização vazio.
DDM	Depois da Descarga MRS	É o tempo acumulado desde o momento em que o vagão fica à disposição da MRS até a partida deste vazio.
TTV	Transit Time Vazio	É o tempo acumulado desde a partida do vagão vazio do pátio de origem ou no Pátio de Intercâmbio até a chegada do vagão no pátio de destino (pátio de entrega ao cliente). Este indicador pode ser analisado de forma mais detalhada através dos seguintes indicadores: Transit-Time Vazio Circulando (TVC), Transit-Time Vazio Parado em Trem (TVT) e Transit-Time Vazio Parado em Pátio (TVP).
VVC	Viagem Vazio Cliente	É o tempo de viagem em que o vagão vazio ficou parado em algum pátio antes do pátio de destino do vagão e que a responsabilidade é do cliente.

**Tabela 2 - Descrição das etapas de um ciclo**  
ADAPTADO: OLIVEIRA (2007)

## **Capítulo IV**

### **DESENVOLVIMENTO**

#### **4.1. GANHOS ESPERADOS**

Com a segregação das linhas da CPTM diversos impactos são esperados para a operação na região. Entre eles são esperados principalmente: significativa redução no ciclo do minério de ferro Usiminas Cubatão; economia de locomotivas, proporcionando maior disponibilidade de um ativo importante para a operação; inexistência de THP causados pela CPTM como “aguardar licença de outra ferrovia”, “aguardar faixa de outra ferrovia” e “aguardar defeito de sinalização em outra ferrovia” nos pátios afetados com a segregação das linhas; diversos ganhos financeiros, entre eles o não pagamento do direito de passagem para transpor o trecho CPTM; ganho nas frotas de locomotivas e vagões; não restrições de horários de passagem e modelos de locomotivas.

Pode ser esperado também um impacto na cremalheira, como exemplo os vagões da Usiminas Cubatão que chegarão todos de uma vez já que a composição não necessitará ser fragmentada e nem aguardar janelas para circular. Será possível dessa forma melhor cumprimento do acordo operacional com este importante cliente da região. Tal impacto será melhor avaliado através de simulação, assim como o impacto em outros pátios envolvidos.

Mais um fator a ser analisado é a necessidade de recursos como locomotivas, vagões e equipagens. Serão necessárias menos locomotivas já que as composições não precisarão ser fragmentadas e nem haverá restrições quanto aos modelos que poderão circular no trecho. Desse modo, pode haver uma necessidade menor de equipagens, além de considerar que ficarão menos tempo em trem não circulando e proporcionando economia à companhia por se tratar de um recurso caro. Com um ciclo menor, os vagões estarão mais disponíveis para a produção, podendo até mesmo atender diferentes fluxos em alguns casos, aumentando a capacidade de produção.

Com a esperada redução significativa do THP e conseqüente redução nos ciclos, podem ser desenvolvidos novos desenhos operacionais. Dessa forma poderão ser alterados os locais de abastecimento e aqueles de troca de equipagens, já que estas poderão permanecer mais tempo no trem circulando do que aguardando para iniciar atividades.

Portanto, pretende-se analisar a redução no THP com a realização da segregação de linhas e com isso avaliar os conseqüentes ganhos nos ciclos dos principais fluxos. Por fim poderão ser apresentadas as formas de operação sem e com a segregação das linhas de carga e comparadas através de simulação a fim de avaliar os impactos operacionais na região. Poderá ser avaliado também o impacto operacional na região considerando outros projetos e demandas futuras, como o caso do projeto da construção da esteira rolante da Usiminas Cubatão que liberará a cremalheira em cerca de 70% deste fluxo.

## **4.2. ANÁLISE DA CAPACIDADE DE PRODUÇÃO**

Um significativo ganho na capacidade de produção pode ser estimado através da redução de THP e redução no ciclo do minério de ferro da Usiminas Cubatão, fluxo mais significativo e de maior impacto, calculados a seguir, visto que: com redução no THP vários pátios poderão ter menos congestionamentos e maior capacidade de recebimento de trens; com os ciclos menores mais recursos estarão disponíveis para produção, mais vagões poderão atender diferentes fluxos, mais locomotivas estarão disponíveis para manobras e composições e; ainda poderão ser melhor cumpridos os acordos operacionais com clientes.

### **4.2.1. ANÁLISE DE REDUÇÃO DE THP**

A redução de THP é um dos maiores ganhos esperados com a realização deste projeto. Há o impacto da não existência dos THPs “aguardar – licença de outra ferrovia” e “aguardar – faixa metropolitana” nos pátios onde a operação for segregada, uma vez que os trens não precisarão aguardar os intervalos dos trens de passageiros para circular. O primeiro THP é usado para registrar parada de trens que aguardam licença para circular na malha de outra ferrovia e, o segundo, para paradas de trens em decorrência de preferência de trens metropolitanos aguardando faixa de circulação.

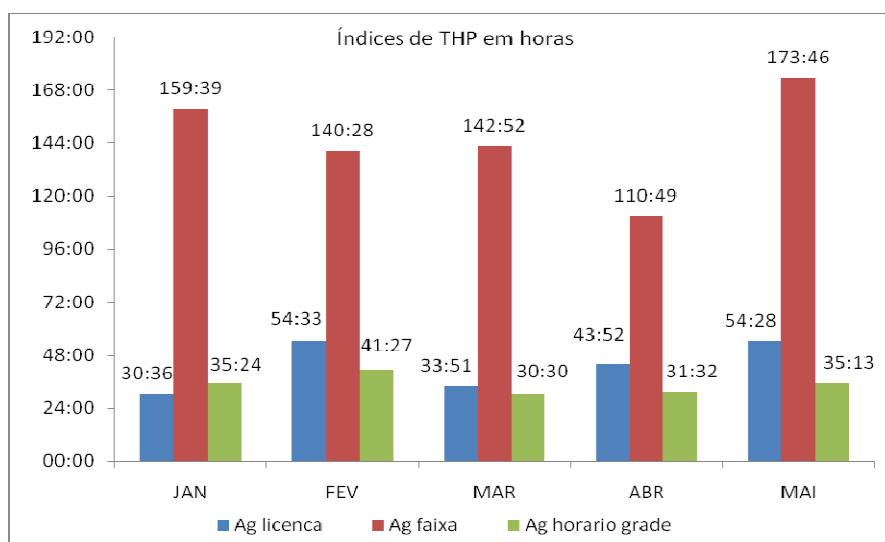
Haverá também redução dos THPs aguardando anexação e retirada tanto de locos como de vagões já que os trens não precisarão mais ser fragmentados em blocos para transpor o trecho devido às restrições impostas. Pode-se considerar ainda o THP da atividade “defeito de sinalização em outra ferrovia” que apesar de menos significativo também deixará de existir no trecho. Entretanto poderá ser observado um aumento do THP para as atividades “aguardando acesso para descida/subida na cremalheira” e “aguardar – pátio congestionado” uma vez que os vagões chegarão todos de uma vez e não serão escoados no mesmo ritmo devido as restrições operacionais da cremalheira. Para solucionar esse problema deverá ser analisado o novo cenário e proposta nova forma de planejamento para minimizar o impacto.

Levando-se em conta os pátios envolvidos no trecho da segregação entre IEF e OSU além daqueles adjacentes que também sofrem interferência, os trens que circulam nesse trecho, e os THPs anteriormente citados, foi realizada uma análise estatística dos dados de janeiro a maio de 2008, coletados nos sistemas da companhia. Os pátios definidos para serem avaliados foram IEF, OSU, FPI, FST, ISU e ICG. Os trens analisados nesses pátios foram aqueles definidos na companhia como das famílias KPP0, KPK0, KKP0, NYE0, NEY0, NFY0, NFY1, NPY0, XPU0, XUP0 e XKP0. Os THPs foram aguardar faixa e aguardar licença de outra ferrovia e ainda aguardar horário de grade. Portanto, analisando tais THPs dos citados trens nos pátios definidos, chegou-se aos seguintes índices da tabela 3 e da figura 11 calculado em horas:

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	Totais
<b>Ag licenca</b>	30.605	54.554	33.850	43.882	54.468	<b>217.359</b>
<b>Ag faixa</b>	159.663	140.475	142.879	110.832	173.775	<b>727.623</b>
<b>Ag hor grd</b>	35.411	41.456	30.502	31.544	35.221	<b>174.133</b>
	<b>225.679</b>	<b>236.485</b>	<b>207.231</b>	<b>186.257</b>	<b>263.464</b>	

**Tabela 3 - índices de THP**

FONTES: o autor (2008)



**Figura 11 - Índices de THP em horas**

FONTES: o autor (2008)

A tabela 4 a seguir mostra o tempo médio por mês das atividades analisadas com base no período avaliado. Multiplicando essas médias por 12 projeta-se um total que poderia ser obtido para o ano todo, o que corresponderia a um tempo de 2685:52 por ano a ser eliminado com a realização do projeto.

Ativ	Média por mês	Total projetado no ano
<b>Ag licenca</b>	<b>43:28</b>	<b>521:39</b>
<b>Ag faixa</b>	<b>145:31</b>	<b>1746:17</b>
<b>Ag horario grade</b>	<b>34:49</b>	<b>417:55</b>

**Tabela 4 - THP médio mensal realizado e total anual projetado**

FONTES: o autor (2008)

Calculando-se o total do THP dos meses avaliados e dividindo-os pelos respectivos número de dias, obtém-se uma média de THP por dia de 07:16 em janeiro, 08:09 em fevereiro, 06:41 em março, 06:12 em abril e 08:29 em maio. Portanto, uma média de 7:22 minutos por dia seriam eliminados com a segregação das linhas nos pátios e trens analisados. Isto representaria um ganho nos fluxos com conseqüente aumento de disponibilidade de recursos, aumento de capacidade de atendimento nos pátios já que os

trens não ficariam mais retidos por esse tempo improdutivo e até congestionando pátios em alguns casos.

Analisando a redução de THP nos pátios obteve-se uma média mensal de 37:18 por pátio. Os dados são mostrados para cada pátio na tabela 5. Pode-se observar que o pátio que mostra maior redução é o de OSU, seguido do pátio de IEF com 42:26, o que era esperado por serem os pátios extremos do trecho a ser segregado. O pátio de IEF apresentou neste período um THP total médio de 454:58 por mês, portanto tal redução representaria quase 10%, enquanto OSU apresentou THP médio total de 204:53 por mês, havendo então uma redução de quase 50%.

	<b>JAN</b>	<b>FEV</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAI</b>	<b>médias</b>	<b>projetado para o ano</b>
<b>IEF</b>	50:12	37:09	55:44	34:45	34:22	<b>42:26</b>	<b>509:21</b>
<b>OSU</b>	93:11	96:57	97:00	96:04	121:24*	<b>95:48</b>	<b>1149:36</b>
<b>FPI</b>	21:09	11:44	08:10	00:49	02:56	<b>08:57</b>	<b>107:34</b>
<b>FST</b>	04:10	01:25	00:00	00:00	06:56	<b>02:30</b>	<b>30:05</b>
<b>ISU</b>	26:23	48:57	17:55	14:46	47:13	<b>31:03</b>	<b>372:39</b>
<b>ICG</b>	30:33	40:16	28:23	39:49	50:34	<b>37:55</b>	<b>455:04</b>

\*dado não considerado no cálculo da média e do projetado por consistir um outlier na análise.

**Tabela 5 - THP por pátio**

FONTE: o autor (2008)

Dessa forma foi estimada também uma média diária dividindo-se a média mensal de cada pátio por 30 dias mostradas na tabela 6. Dessa forma estimou-se uma redução de 3 horas por dia para o pátio de OSU e de quase 1:30 por dia para IEF. O pátio de ICG teria redução de pouco mais de uma hora, representando um importante ganho já que este pátio é influenciado pela operação da cremalheira.

<b>Pátios</b>	<b>Redução média estimada por dia</b>
<b>IEF</b>	<b>01:24</b>
<b>OSU</b>	<b>03:11</b>
<b>FPI</b>	<b>00:17</b>
<b>FST</b>	<b>00:05</b>
<b>ISU</b>	<b>01:02</b>
<b>ICG</b>	<b>01:15</b>

**Tabela 6 - Redução média diária de THP por pátio**

FONTE: o autor (2008)

Entretanto, torna-se importante salientar que nessa análise só estão inclusos os pátios e trens citados, não sendo contabilizados outros trens que possam ter passado nessa rota, locomotivas escoteiras que circulam no trecho e também outros pátios menos significativos presentes no trecho em análise. Dessa forma a redução efetiva no THP pode ser maior do que a calculada nessa análise.

#### 4.2.2. ANÁLISE DE GANHO EM CICLO

O transporte do minério de ferro da Usiminas Cubatão é o de maior volume e portanto o de maior impacto nos ganhos de produtividade, justificando uma análise do ciclo, da redução de THP e do incremento na capacidade de produção. A operação no trecho para esse fluxo implica no fracionamento do trem devido às restrições impostas pela CPTM, sendo necessário que uma locomotiva seja anexada apenas para a transposição nesse trecho, quando duas locomotivas levam cerca de 2/3 da composição e a terceira leva o restante. Assim, não será necessário aguardar janelas na CPTM nem fragmentar a composição, permitindo que o trem vá direto para a cremalheira, não havendo necessidade da terceira locomotiva e proporcionando economia desse ativo para a companhia em cerca de 72 horas. Daí são estimados importantes ganhos uma vez que há redução significativa no ciclo deste importante cliente e economia de ativos caros como locomotivas.

Foi realizado um estudo de capacidade de produção do chamado ciclo Usiminas Cubatão com o projeto da segregação das linhas da CPTM para dados de setembro de 2007 a março de 2008. Foi analisado o efeito da existência de faixas para circulação na CPTM para trens carregados e vazios. Para os trens carregados, de FSE (Saudade) a FPI (Pinheirinho) a circulação é planejada pelo CCO de forma que os trens cheguem em São Paulo em horários próximos às faixas de circulação na CPTM. De FPI a ICG (Campo Grande) analisou-se os THPs “Aguardar licença de outra ferrovia”, “Aguardar faixa de outra ferrovia” e “Aguardar horário de grade” em FPI e IEF. Para os trens vazios, de ICG a IEF analisou-se os mesmos THPs “Aguardar licença de outra ferrovia”, “Aguardar faixa de outra ferrovia” e “Aguardar horário de grade” para os pátios de ICG e OSU. Para calcular a capacidade de produção sem interferência da CPTM usou-se o cálculo dos ciclos orçados e expurgou-se os efeitos dos THPs anteriormente citados.

A tabela 7 a seguir mostra os ciclos realizados para o fluxo em estudo. São apresentados os tempos em horas para cada etapa do ciclo, o tempo total e por fim o ciclo em dias realizado em cada mês.

CICLO REAL	ACM	ACC	CAR	DCM	TTC	VCC	ADM	ADC	DES	DDM	TTV	VVC	TOTAL	CICLO
SET 2007	0:49	0:12	3:26	0:55	51:09	0:00	1:04	0:30	9:21	3:41	37:20	0:34	109:07	4.55
OUT 2007	0:45	0:33	3:35	0:38	54:54	0:55	3:05	2:19	15:34	3:08	39:03	0:16	124:49	5.20
NOV 2007	0:32	0:27	3:23	0:54	53:56	0:00	0:47	0:25	8:51	2:49	40:36	0:11	112:56	4.71
DEZ 2007	0:42	0:16	3:34	0:56	53:10	0:00	0:59	0:43	10:13	2:26	38:48	0:20	112:12	4.68
JAN 2008	0:33	0:56	3:11	1:33	50:18	0:06	0:55	0:35	7:32	2:21	41:52	0:30	110:28	4.60
FEV 2008	0:38	0:39	3:19	1:12	52:52	0:00	1:09	0:54	9:52	2:26	40:18	0:16	113:40	4.74
MAR 2008	0:24	0:54	3:21	1:14	55:46	0:31	0:41	0:51	8:57	2:38	44:03	0:31	119:57	5.00
ABR 2008	0:31	0:55	3:30	2:11	54:16	0:00	0:53	0:22	6:42	3:33	42:26	0:35	115:57	4.83
MAI 2008	0:18	0:47	3:12	2:01	59:54	0:37	0:50	0:23	8:28	3:28	39:59	1:16	121:19	5.06

**Tabela 7 - Ciclo Usiminas Cubatão realizado**

ADAPTADO: MRS Logística (2008)

A tabela 8 mostra os THPs causados pela CPTM calculados nos determinados pátios conforme citado para os trens carregados (THP C) e vazios (THP V).

Cálculo THP	THP C	THP V	THP C+V
SET 2007	4:32	0:43	5:15
OUT 2007	3:57	0:52	4:49
NOV 2007	3:06	0:19	3:25
DEZ 2007	2:24	0:36	3:00
JAN 2008	3:31	0:38	4:09
FEV 2008	3:32	0:30	4:02
MAR 2008	3:14	0:58	4:12
ABR 2008	3:28	0:36	4:04
MAI 2008	4:38	0:31	5:09

**Tabela 8 - Cálculo de THP causa CPTM**

ADAPTADO: MRS Logística (2008)

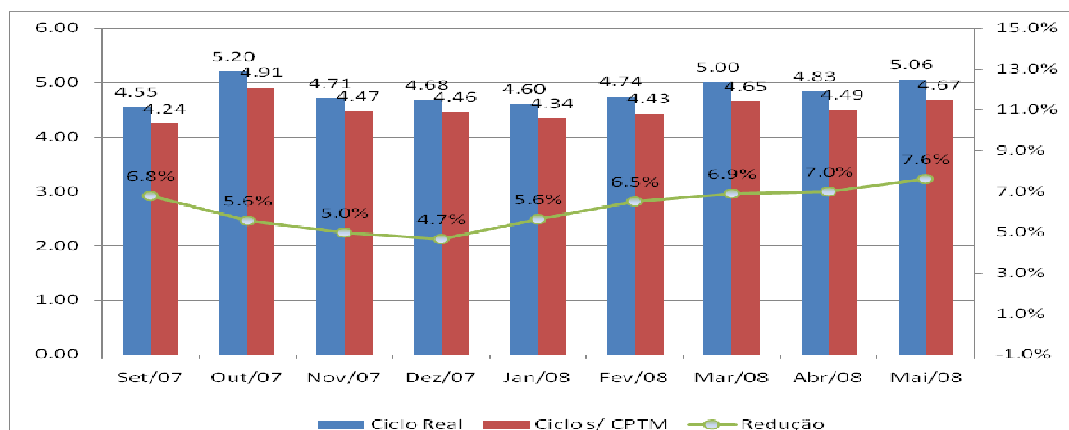
Calculados os THPs causados pela CPTM e expurgados dos dados dos ciclos realizados na tabela 7, obtém-se a tabela 9 apresentando os ciclos sem a interferência da CPTM mostrado em destaque.

CICLO REAL - THP CPTM	ACM	ACC	CAR	DCM	TTC	VCC	ADM	ADC	DES	DDM	TTV	VVC	TOTAL	CICLO
SET 2007	0:49	0:12	3:26	0:55	44:28	0:00	1:04	0:30	9:21	3:41	36:37	0:34	101:43	4.24
OUT 2007	0:45	0:33	3:35	0:38	48:49	0:55	3:05	2:19	15:34	3:08	38:11	0:16	117:52	4.91
NOV 2007	0:32	0:27	3:23	0:54	48:39	0:00	0:47	0:25	8:51	2:49	40:17	0:11	107:20	4.47
DEZ 2007	0:42	0:16	3:34	0:56	48:32	0:00	0:59	0:43	10:13	2:26	38:12	0:20	106:58	4.46
JAN 2008	0:33	0:56	3:11	1:33	44:42	0:06	0:55	0:35	7:32	2:21	41:14	0:30	104:14	4.34
FEV 2008	0:38	0:39	3:19	1:12	46:00	0:00	1:09	0:54	9:52	2:26	39:48	0:16	106:17	4.43
MAR 2008	0:24	0:54	3:21	1:14	50:32	0:31	0:41	0:51	8:57	2:38	41:05	0:31	111:42	4.65
ABR 2008	0:31	0:55	3:30	2:11	48:48	0:00	0:53	0:22	6:42	3:33	39:50	0:35	107:52	4.49
MAI 2008	0:18	0:47	3:12	2:01	53:16	0:37	0:50	0:23	8:28	3:28	37:28	1:16	112:06	4.67

**Tabela 9 - Cálculo THP realizado sem interferência da CPTM**

ADAPTADO: MRS Logística (2008)

Dessa forma foram calculados as reduções no ciclo para os meses analisados conforme mostra o gráfico na figura 10, obtendo-se uma média de 6,17%.



**Figura 12 - Redução nos ciclos**

ADAPTADO: MRS Logística (2008)

Calculada essa redução média no ciclo foi possível calcular a capacidade de produção em toneladas com base nos ciclos orçados. A capacidade foi orçada para o ano em cima dos ciclos orçados para cada mês. Para calcular os ciclos sem interferência da CPTM expurgou-se a redução média de 6,17% anteriormente calculada. Chegou-se então à nova capacidade sem interferência da CPTM e ao incremento da mesma para cada mês, havendo um incremento total na capacidade de 291.825 para o ano. Os resultados são mostrados na tabela 10 a seguir por meses e o total no ano.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Ciclos Orçados	4,33	4,51	4,12	3,82	4,03	4,08	4,45	4,27	4,19	4,21	4,27	4,41	4,22
Capacidade Orçada	355.000	316.000	344.000	374.000	385.000	374.000	385.000	385.000	374.000	385.000	374.000	385.000	4.436.000
Ciclos s/ CPTM	4,06	4,23	3,87	3,58	3,78	3,83	4,18	4,00	3,94	3,95	4,00	4,14	3,96
Capacidade s/ CPTM	378.354	336.788	366.630	398.604	410.327	398.604	410.327	410.327	398.604	410.327	398.604	410.327	4.727.825
Incremento Capacidade	23.354	20.788	22.630	24.604	25.327	24.604	25.327	25.327	24.604	25.327	24.604	25.327	291.825

**Tabela 10 - Incremento na capacidade**  
ADAPTADO: MRS Logística (2008)

#### 4.2.3. OUTRAS CONSIDERAÇÕES

Dentre outras considerações acerca de ganhos operacionais com o projeto da segregação há a economia de recursos, não restrição de horário e não restrição de modelos de locomotivas e ainda ganhos financeiros com o não pagamento do direito de passagem.

A economia de locos e vagões é um dos principais ganhos já que haverá redução de ciclos e com isso maior disponibilidade desses recursos. Os vagões circulando em menores períodos estarão disponíveis para transporte de outros fluxos, aumentando a capacidade de produção. Quanto às locomotivas, não havendo necessidade de fragmentar a composição para transpor o trecho CPTM menos locomotivas serão necessárias e, conseqüentemente, menos equipagens, economizando caros recursos da companhia. Também não haverá restrições quanto aos modelos das locos contribuindo para a disponibilidade deste recurso para diversas atividades na ferrovia, como manobras e transporte de cargas, podendo contribuir para aumento de capacidade de produção ou atendimento em pátios e, com a menor necessidade de equipagens podem ser alterados também os pontos de troca. No caso do ciclo Usiminas Cubatão, estima-se um ganho de 72h de locomotivas.

Com o projeto há também um significativo ganho financeiro a ser considerado com a economia do não pagamento do direito de passagem na via da CPTM, o qual depende do peso da composição e da quilometragem percorrida. A TDP, tarifa de direito de passagem, é calculada com base numa tarifa por tonelada bruta x quilometragem. Com a não restrição de horário e comprimento da composição a programação de transporte na região poderá ser alterada e atender melhor os acordos operacionais com os clientes.

### 4.3. SIMULAÇÃO

O *software* usado para a simulação foi o Arena® da *Rockwell Software* devido ao fato de ser um dos mais usados no meio acadêmico e até mesmo empresarial atualmente, por proporcionar um ambiente que engloba lógica e animação com ferramentas poderosas de análise estatística, além de sua interface seguir padrões de outros softwares do Windows.

O objetivo consiste em avaliar o impacto operacional do projeto da segregação na região e na cremalheira. Para tanto foram analisados diferentes cenários: o primeiro representando a forma de operação atual na região, o segundo incluindo o projeto da segregação e o terceiro acrescenta ainda a construção da esteira rolante da Usiminas Cubatão. Foram seguidos os passos da figura 6 da seção 2.3. para formular um estudo envolvendo modelagem e simulação conforme apresentado anteriormente.

O estudo teve início com a formulação do problema, definindo os objetivos que envolviam avaliar os impactos operacionais na região com o projeto da segregação. Foram também definidos os cenários a serem investigados, os componentes e as iterações lógicas, assim como foram coletadas macro-informações, estatísticas e fatos, conhecidos durante período de estágio na companhia MRS Logística. Os cenários com e sem o projeto da segregação foram melhor descritos no capítulo anterior. Em seguida foi elaborado o modelo no Arena® versão *training* 12.0 e verificados os resultados, assim como foi definido o nível de detalhamento para este trabalho. A partir daí foram realizados os experimentos a fim de se obter resultados aproximados representativos da realidade seguidos de análises estatísticas dos mesmos através do próprio software. Por fim foram comparados os cenários avaliados, apresentados os resultados obtidos e feitas recomendações acerca do projeto.

#### 4.3.1. DADOS DE ENTRADA

Foram realizadas coletas de dados nos sistemas da companhia assim como consulta a colaboradores para fornecer os dados de entrada ao modelo. Os inputs incluem: tempos de percurso, tempos de espera de janelas da CPTM, capacidade das linhas, dos pátios e da cremalheira, chegadas de trens nos pátios, tempos nos pátios, tempos na cremalheira. Os dados foram coletados do período 01/03/2009 a 30/04/2009 para estimar os números a serem usados nos modelos. O período de simulação foi definido em 5 replicações de 10.000 dias e o período de warm up em 10 dias.

Para análise estatística dos dados de entrada foi usado o Input Analyser®, parte do software, a fim de se obter também as curvas estatísticas a serem usadas no modelo. A seguir, tabela mostrando os inputs do modelo com as respectivas curvas obtidas através do software citado e dados estimados através de consulta a colaboradores da companhia.

INPUTS	Curvas/Tempos
Tempo médio de trens em IEF descendo	-0.5 + ERLA(3.47, 1)
Tempo médio de trens em IEF subindo	-0.5 + WEIB(2.35, 0.678)
Tempo médio de trens em OSU descendo	-0.5 + 86 * BETA(0.767, 0.989)
Tempo médio de trens em OSU subindo	-0.001 + 240 * BETA(0.487, 0.976)
Tempo médio de trens em ICG descendo	-0.001 + 1.3e+003 * BETA(0.249, 1.6)
Tempo médio de trens em ICG subindo	-0.001 + 880 * BETA(0.188, 1.73)
Tempo médio de trens em IPG descendo	-0.001 + WEIB(43, 0.825)
Tempo médio de trens em IPG subindo	100 + EXPO(302)
Tempo médio na cremalheira	TRIA( 60, 120, 180)
Tempo de percurso IEF-OSU	TRIA( 14, 17, 20)
Tempo de percurso OSU-ICG	TRIA( 70, 85, 100)
Tempo de percurso ICG-cremalheira	TRIA( 6, 9, 12)
Tempo de percurso cremalheira-IPG	TRIA( 47, 50, 53)
Chegada de trens em IEF sentido IPG	a cada 872 minutos em média
Chegada de trens em ICG sentidoIPG	a cada 409 minutos em média
Saída de trens de IPG sentido ICG e IEF	a cada 403 minutos em média
Capacidade do pátio IEF	4 trens
Capacidade do pátio OSU	2 trens
Capacidade do pátio ICG	4 trens
Capacidade das linhas	1 trem
Capacidade do pátio IPG	4 trens
Capacidade do pátio IRS	4 trens
Capacidade do pátio IPA	4 trens
Capacidade da cremalheira	2 trens

**Tabela 11 – Inputs do modelo**  
ADAPTADO: MRS Logística (2008)

#### 4.3.2. LÓGICA DO MODELO

O nível de detalhamento do modelo envolve simplificações para que a versão *training* do Arena® pudesse ser utilizada mas buscou-se representar de forma aproximada a realidade para que os objetivos da simulação fossem atingidos de maneira satisfatória. Sendo assim, e por se tratar de um trabalho acadêmico cujo objetivo principal é mostrar o uso de técnicas de simulação na análise de projetos, foi possível que alguns dados fossem apenas estimados acerca dos valores observados, como no caso da cremalheira, enquanto

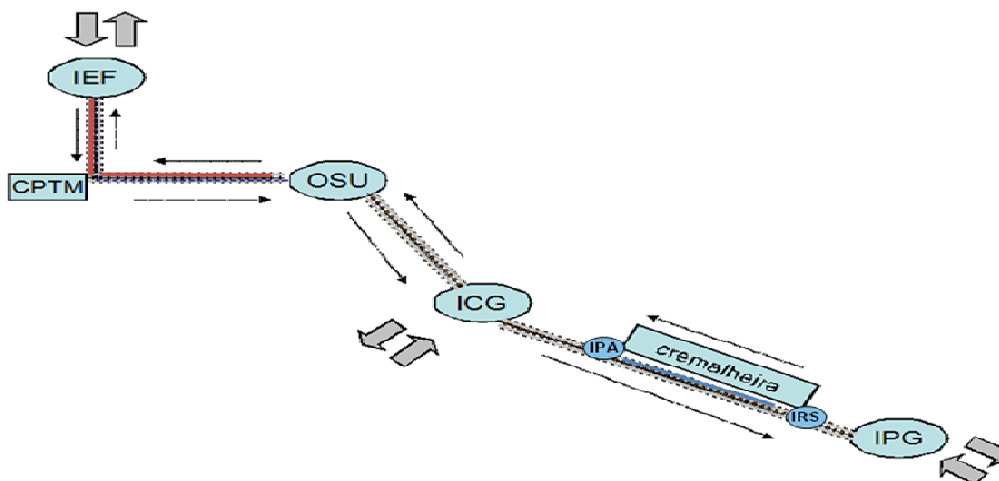
outros foram baseados no realizado no período de análise, como os tempos de trens em pátio.

O modelo foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o impacto do projeto da segregação na operação na região e na cremalheira através da análise de diferentes cenários incluindo também projetos futuros, como o caso da construção da esteira transportadora da Usiminas Cubatão. Para tal foram simulados os principais pátios envolvidos como IEF, OSU, ICG, IPG, IRS e IPA além do trecho CPTM a ser segregado e a cremalheira, incluindo os principais trens que descem e sobem nesse trecho.

Nos pátios de IEF, ICG e IPG há saída e entrada de trens, havendo circulação nos dois sentidos na malha. De IEF e de ICG saem trens para IPG e, de IPG saem trens que vão para IEF ou ICG. Tais taxas de chegada foram baseadas nos tempos médios realizados no período pesquisado. Os tempos de percurso foram calculados através dos mesmos dados mas tiveram uma curva triangular ajustada. A porcentagem de trem a passar pela esteira da Usiminas Cubatão também foi estimada com base no realizado contando com transporte de todo minério por esse meio. Do mesmo modo foi calculada a porcentagem de saída de trens em ICG e IEF vindos de IPG. A capacidade dos pátios foi estimada consultando colaboradores. Dados observados como *outliers* foram desconsiderados dos cálculos.

O trecho CPTM foi simulado de forma a funcionar de acordo com as restrições de horário impostas como citado na seção 2.5 anteriormente e mostrados os horários no Anexo II. Para o trecho cremalheira foi estimado o tempo para um trem completo transpor o trecho ao invés de depender de blocagem de vagões como ocorre na prática. Dessa forma foram calculadas as possíveis combinações de tempo para viagens na cremalheira, a qual depende do número e das características (peso e comprimento) de vagões a serem transportados e da quantidade de locos disponíveis, estimadas as quantidades de viagens necessárias para os principais fluxos e, assim estimada a curva triangular a ser usada no modelo. Foram simulados nesse caso a ocupação dos pátios de IRS e IPA onde ficam alocados os vagões para transposição da cremalheira. A blocagem de vagões não foi considerada nesse modelo por estar sendo utilizada a versão *training* do *software*, a qual é restrita a um número máximo de entidades circulando no modelo. Não foram consideradas também paradas por quebra nem a circulação de locomotivas escoteiras.

A lógica para circulação dos trens no modelo envolve uma operação algorítmica afim de evitar que 2 trens ocupem uma mesma linha ou que se exceda a capacidade de recebimento de trens em pátio. Para tanto, um trem antes de sair do pátio onde se encontra, libera o pátio, ocupa o trecho a transpor e o pátio de destino, chegando nesse pátio pode desocupar a linha onde estava circulando e ser processado nesse pátio, quando então recomeça todo o mecanismo.



**Figura 13 – Desenho do modelo**  
ADAPTADO: MRS Logística (2008)

#### 4.3.3. CENÁRIOS ANALISADOS

Os cenários a serem analisados necessitam da construção de três modelos. O primeiro mostrando a forma de operação atual no trecho estudado. O segundo analisando como seria a operação com o projeto da segregação e o impacto nos pátios e na cremalheira. O terceiro analisando a operação e o impacto na cremalheira com o projeto da segregação junto ao projeto de construção da esteira transportadora.

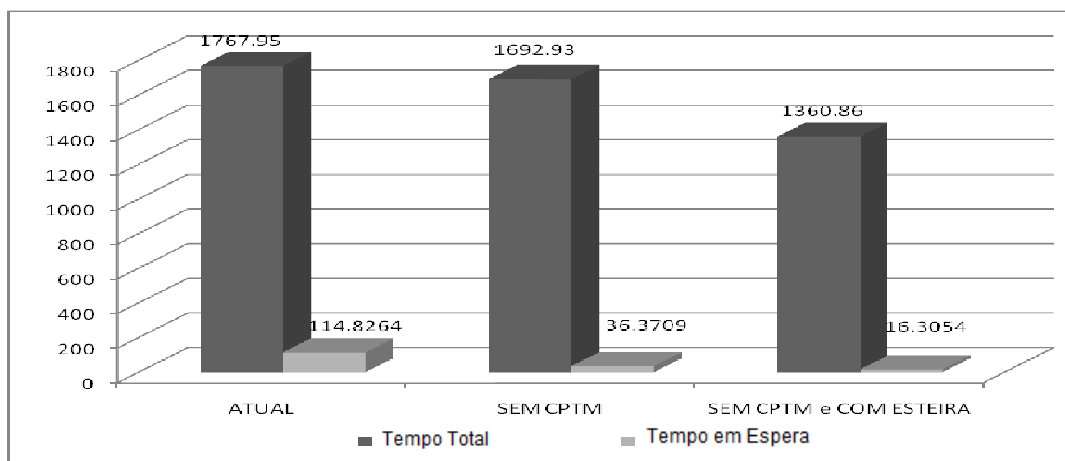
Dentre as principais questões a serem analisadas há o congestionamento ou fila em pátios; escoamento pela cremalheira já que o material chegará todo de uma vez com a segregação; se a capacidade da cremalheira ficará ociosa com a construção da esteira transportadora; congestionamento dos pátios relacionados à cremalheira; quantidade de trens circulando, *transit times*. Os modelos são apresentados no Anexo IV.

#### 4.3.4. RESULTADOS

Através dos relatórios gerados pelo *software* foi possível avaliar o impacto operacional nos principais pátios ferroviários envolvidos e na cremalheira. Foram realizadas 5 replicações de 10.000 dias. Não houve alteração significativa no número de circulação de trens, totalizando 87.366 trens, exceto com a segregação que apresentou total de 87.367. Com a segregação há um impacto pouco significativo na cremalheira, mesmo os trens chegando mais rápido sem as restrições de horário. Entretanto, com o projeto da esteira transportadora há um desfogamento significativo do fluxo na cremalheira como esperado. Nota-se também que o tempo total no sistema e o tempo em espera caem significativamente com a realização dos projetos. E, como esperado, os tempos relacionados ao trecho CPTM caem muito ou deixam de existir com a segregação, tais como filas em IEF e OSU e utilização dessas linhas. O pátio de IPG apresenta menor utilização com uso da esteira já

que os vagões são escoados para a usina Cubatão. Já o pátio ICG passa a apresentar maior utilização uma vez que passa a suportar mais operações recebendo também vagões que chegam pela esteira.

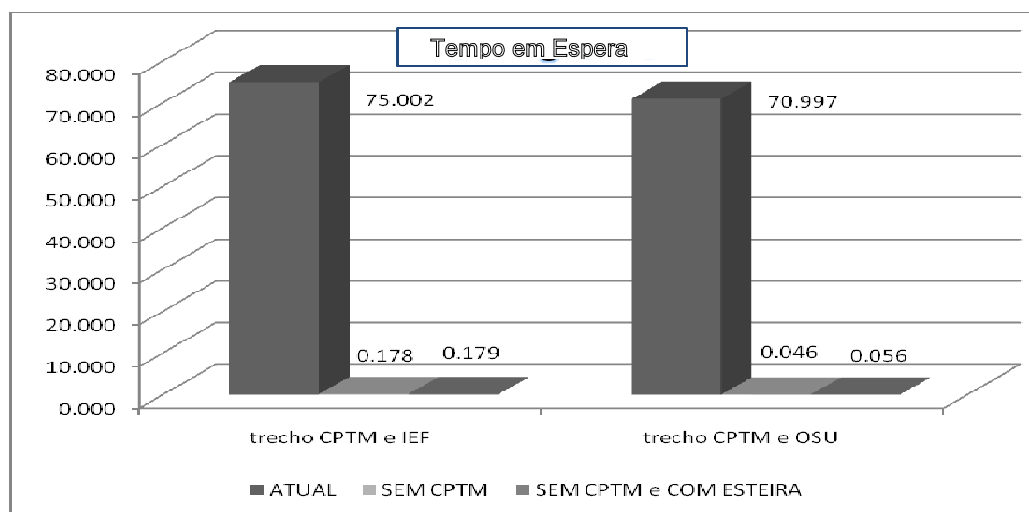
Como citado anteriormente, o gráfico da figura 14 mostra que o tempo total no sistema e o tempo em espera caíram significativamente com a realização dos projetos. O tempo em espera caiu 68,3% com a segregação e 85,8% com a esteira.



**Figura 14 – Gráfico de resultados da simulação**

ADAPTADO: MRS Logística (2008)

O tempo em espera para circular na CPTM caiu muito com a segregação, praticamente deixando de existir, o que pode ser notado pelo tempo alocando os trechos e recursos associados à CPTM no gráfico a seguir.

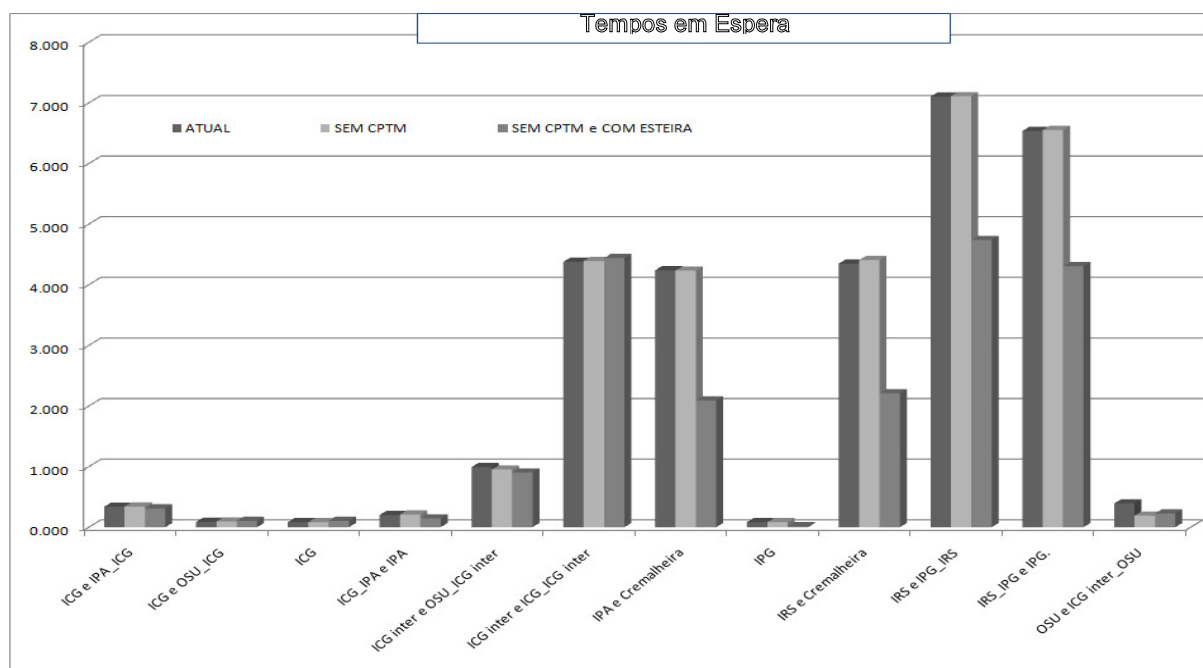


**Figura 15 – Tempo em espera trechos CPTM**

ADAPTADO: MRS Logística (2008)

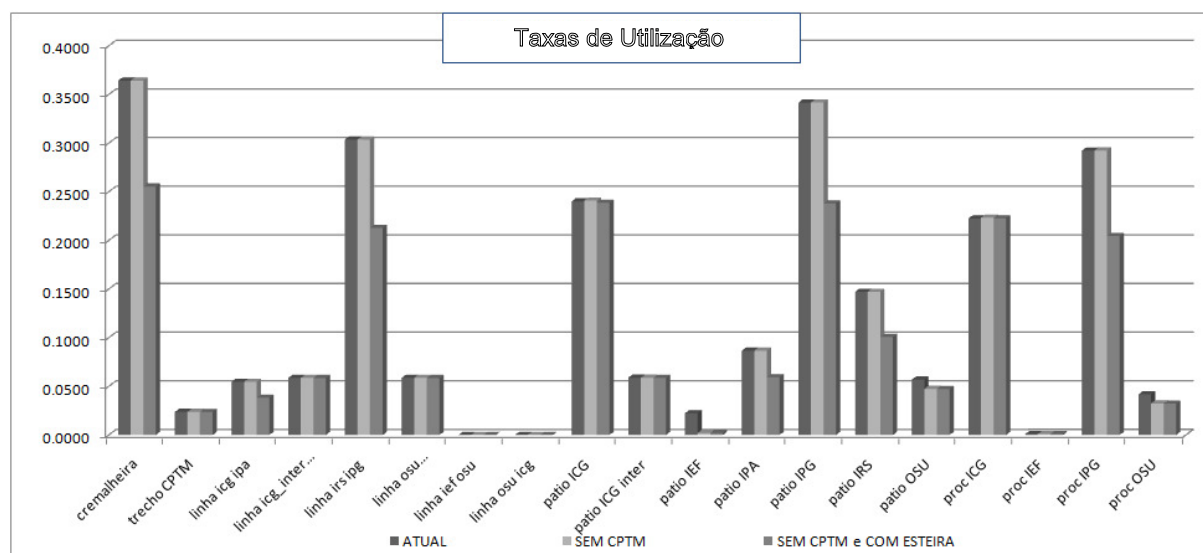
Já os tempos de espera relacionados à cremalheira aumentaram um pouco ou mantiveram-se com a segregação, visto que os trens chegavam mais rápido sem as restrições de horário, mas reduziram com a esteira já que o fluxo Usiminas Cubatão seria

escoado por esse meio. No pátio de ICG e recursos relacionados houve o efeito inverso já que passou a suportar mais operações, como pode ser visto na figura 16.



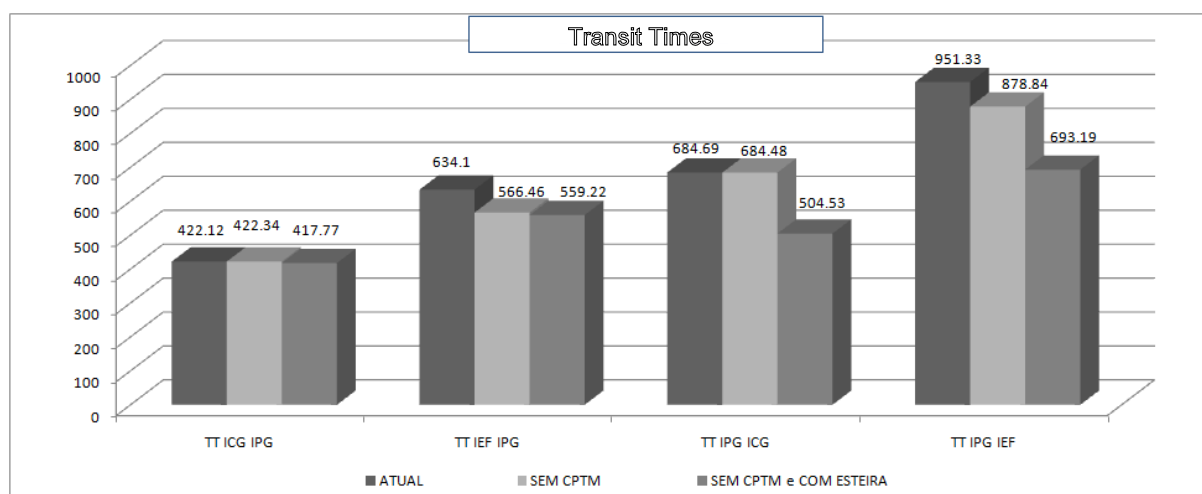
**Figura 16 – Tempos em espera**  
ADAPTADO: MRS Logística (2008)

O gráfico da figura 17 mostra que a taxa de utilização da cremalheira e recursos associados não apresentaram mudanças significativas com a segregação, mas a esteira trouxe maior redução uma vez que desafoga a cremalheira. A segregação influenciou os pátios de IEF e OSU conforme era esperado.



**Figura 17 – Taxas de utilização**  
ADAPTADO: MRS Logística (2008)

Quanto aos *transit times*, tempos de trânsito, entre IEF, ICG e IPG houve significativas alterações em quase todos os trechos. O *transit time* entre ICG e IPG não apresentou alterações significativas visto que o trecho não sofre influência da CPTM nem da esteira. Já entre IEF e IPG houve redução de 11,8% devido à segregação. Entre IPG e ICG houve redução de 26,3% devido à esteira e, como o trecho não envolve a CPTM não apresentou reduções com o projeto da segregação. O trecho entre IPG e IEF sofre influência de ambos projetos, havendo então redução de 7,6% com a segregação e de 27,1% com a esteira em relação a operação atual, como pode ser visualizado no gráfico a seguir.



**Figura 18 – Transit times**  
ADAPTADO: MRS Logística (2008)

Portanto, respondendo às questões a serem analisadas com a simulação, foi possível notar que a cremalheira consegue escoar o volume de transporte que chega mais rápido sem as restrições da CPTM. Entretanto uma programação de transporte sem considerar as restrições da CPTM poderia aumentar a utilização deste recurso. Quanto à cremalheira notou-se uma capacidade ociosa já que houve redução de quase 30% na taxa de utilização ao fazer uso da esteira transportadora, a qual libera o fluxo Usiminas Cubatão, constituinte do maior volume transportado pela cremalheira. O pátio ICG e recursos relacionados apresentaram maiores filas já que passaram a suportar mais operações sem as restrições CPTM e com a chegada de volumes direto da esteira. Os pátios IEF e OSU apresentaram menos filas sem as restrições da CPTM. Quanto à quantidade de trens circulando não houve variação significativa. Os transit times apresentaram significativas reduções. A segregação reduziu 10.7% no sentido IEF-IPG (descendo) e 7.6% no sentido IPG-IEF (subindo).

## **Capítulo V**

### **CONCLUSÃO**

#### **5.1. CONCLUSÕES**

Entre os resultados obtidos com as análises neste trabalho estão a redução de THP, o ganho na capacidade de produção e os impactos avaliados pela simulação. O cálculo da redução de THP com o projeto da segregação mostrou uma redução média de 1h12min por dia nos pátios envolvidos, um ganho de mais de 18 horas por mês de recursos parados. O incremento na capacidade do ciclo Usiminas Cubatão apontou 24.318 toneladas em média por mês, representando um total de quase 300.000 toneladas a mais a serem transportadas por ano com base nos cálculos do período em questão. A simulação mostrou que a cremalheira poderia escoar o volume atual mesmo com a segregação com base no realizado nos meses analisados em 2009. Da mesma forma houve também uma redução no transit time e no tempo em espera com a realização dos projetos. Há ainda outros ganhos decorrentes do projeto a serem considerados tais como: economia de recursos, alteração de desenhos operacionais, não restrição de modelos de locomotivas, ganho financeiro com o não pagamento do direito de passagem nas linhas da CPTM.

Diante dos resultados obtidos fica claro que o projeto da segregação poderá propiciar um aumento importante na capacidade produtiva da companhia, além de trazer diversos outros ganhos. Percebe-se também que a cremalheira conseguirá escoar o volume que chegará mais rápido sem as restrições da CPTM e que a esteira transportadora poderá trazer ainda mais ganhos, contribuindo para aumentar ainda mais a capacidade produtiva da companhia. O principal ganho notadamente será no fluxo Usiminas Cubatão, importante cliente com atuais projetos de expansão.

#### **5.2. RECOMENDAÇÕES, SUGESTÕES E PROPOSTAS**

Pode-se perceber através das análises feitas que uma programação adequada ao novo cenário traria melhor utilização dos recursos envolvidos. A programação para a operação atual leva em conta janelas da CPTM, portanto não havendo essas restrições a taxa de chegada de trens poderia ser maior. Sendo assim, haveria um impacto maior na cremalheira, cuja programação também deve ser levada em conta. Com o projeto da esteira o planejamento de transportes também deverá ser alterado já que boa parte do fluxo estará passando pela esteira. Dessa forma, o ganho na capacidade do ciclo Usiminas Cubatão seria ainda maior. Além disso, diversos outros fluxos que não fazem uso do trecho CPTM a ser segregado poderão ter essa opção de passagem ou até mesmo novos desenhos operacionais.

### 5.3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho cumpriu o objetivo proposto de quantificar os ganhos e impactos operacionais com a realização do projeto da segregação e, de demonstrar o uso de técnicas de simulação para analisar impactos e ganhos operacionais de projetos de grande porte inviáveis de serem testados na prática, como no caso da ferrovia.

Por se tratar de um trabalho acadêmico simplificações e aproximações foram possíveis e aceitáveis para simular os cenários propostos. Para uma tomada de decisão real da empresa seria mais adequado usar um modelo menos simplificado. Entretanto tornou-se possível avaliar de forma aproximada os possíveis impactos operacionais com a realização do projeto da segregação e, levando em conta também projetos futuros como a esteira transportadora. Portanto, foi possível concluir que o projeto trará importantes ganhos para a operação na região e contribuirá significativamente para o aumento da capacidade produtiva da companhia.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BANKS, J., CARSON, *Handbook of simulation: principles, methodology, advances, applications, and practice*. Wiley-IEEE: 1998.

BANKS, J., CARSON II, J. S., NELSON, B. L., NICOL, D. M. *Discrete-Event System Simulation*. 4ª edição. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 2004.

BICCA, Antonio Jose, 2001, *Metodologia para estudo de pré-viabilidade de um projeto ferroviário*. Tese M.Sc., Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.

CORREA, H. L., CORREA, C. A.. *Administração da Produção e Operações: Manufatura e Serviços – Uma abordagem estratégica*. 2ª edição. São Paulo: Atlas, 2006.

FREITAS FILHO, Paulo J., *Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas – com aplicações em Arena*. Florianópolis: Visual Books, 2001.

HAMACHER, Fernanda C., 2005, *Resolução do Problema de Alocação Ótima de Vagões e Locomotivas no Curto Prazo*. Tese M.Sc., Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

KELTON, W. D., SADOWSKI, R. P., SADOWSKI, D. A., 2004, *Simulation with ARENA*. 3 Ed, New York, McGraw-Hill Companies Inc.

LANDA, Fabiane Teixeira de, 2007, *Análise de viabilidade de operações no ramo de transporte ferroviário de carga aplicando simulação de eventos discretos*. Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, MG, Brasil.

MACHADO, Marcelo N., 2006, *Pesquisa Operacional aplicada ao Processo de Planejamento e Programação da Operação do Transporte Ferroviário de Carga*. Tese especialização, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

OLIVEIRA, Fernando Luiz C., 2007, *Proposta de um método para revisão dos tempos padrão de ciclo de produção na operação ferroviária*. Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, MG, Brasil.

PRADO, Darci Santos do, *Usando o Arena em Simulação*. 2ª edição. Belo Horizonte: INDG Tecnologia e Serviços Ltda, 2004.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; HARLAND, C.; HARRISON, A.; JOHNSTON, R.; *Administração da Produção*. 2ª edição. São Paulo: Atlas, 1996.

Agência Nacional de Transportes Terrestres, “Evolução recente do transporte ferroviário – Setembro/2007”, [http://www.antt.gov.br/concessaofer/EvolucaoFerroviaria20080523\\_v2.pdf](http://www.antt.gov.br/concessaofer/EvolucaoFerroviaria20080523_v2.pdf) (consulta: maio/2008).

*Centro de estudos em sustentabilidade*, [www.ces.fgvsp.br](http://www.ces.fgvsp.br), (consulta: abril/2008)

*Confederação Nacional do Transporte*, [www.cnt.org.br](http://www.cnt.org.br), (consulta: março/2008) .

*Ministério dos Transportes*, [www.transportes.gov.br](http://www.transportes.gov.br), (consulta: março/2008).

*MRS*, [www.mrs.com.br](http://www.mrs.com.br), (consulta: março/2008).

*NTC Logística*, [www.ntclogística.org.br](http://www.ntclogística.org.br), (consulta: maio/2008).

PICHIOLI, Gilson A., 2002, “Alternativas de Transporte II - A Logística Ferroviária”, *Guia Log*, [www.guiaalog.com.br/artigo131.htm](http://www.guiaalog.com.br/artigo131.htm), (consulta: março/2008).

## ANEXO I

### Glossário de termos ferroviários

**Concessão:** Ato do Poder Político delegando a terceiros a construção, uso e gozo de uma via férrea, e em cujo contrato se estabelecem as vantagens e obrigações do concessionário, inclusive o gozo do direito de desapropriação, por utilidade pública, dos imóveis necessários à concessão, isenção ou redução de direitos alfandegários e de impostos, condições de encampação, reversão e caducidade de contrato, etc.

**Desempenho:** Define-se desempenho como os atributos que identifiquem a performance dos trens de uma operadora quando em circulação em linha controlada pela outra operadora.

**Direito de passagem:** É a operação em que uma concessionária, mediante remuneração ou compensação financeira, permite a outra trafegar na sua malha para dar prosseguimento, complementar ou encerrar uma prestação de serviço público de transporte ferroviário, utilizando a sua via permanente e o seu respectivo sistema de licenciamento de trens. Os quantitativos de acidentes serão computados para a concessionária responsável pela sua causa e no direito de passagem, a produção de transporte - TKU deverá ser computada para a concessionária responsável pelo transporte, podendo ser considerada para a concessionária cedente do direito de passagem parcela proporcional ao uso dos recursos de infra-estrutura, desde que haja previsão no contrato operacional específico.

**Gargalo:** Instalação, função, departamento ou recurso que impede a produção, pois sua capacidade é inferior ou idêntica à demanda.

**Grade de Trens:** É um documento com os trens de Carga Geral. Informa, para cada uma das famílias de trens, a frequência de circulação, o local de origem e de destino, os pontos de paradas programadas, as atividades a serem realizadas em cada um desses pontos e os horários de chegada e de partida em cada local.

**Headway:** Intervalo entre trens.

**Horário de compartilhamento:** Período definido por linha onde os trens de carga poderão trafegar compartilhando a circulação com os trens metropolitanos.

**Horário de pico:** Período definido por linha, quando ocorre a maior concentração da demanda de usuários nos trens metropolitanos, não sendo permitido o tráfego de trens de carga.

**Interferência:** Define-se interferência como sendo a ampliação do intervalo entre trens, provocada por uma operadora na execução da programação da outra, medida em minutos.

**Linha (linha férrea):** Conjunto de trilhos assentados sobre dormentes, em duas filas, separadas por determinada distância, mais acessórios de fixação, aparelhos de mudança de

via (chave etc.) e desvios, onde circulam os veículos e locomotivas, podendo ainda, num sentido mais amplo, incluir os edifícios, pontes, viadutos, etc. Via férrea ou conjunto de vias férreas adjacentes, em que se opera o tráfego ferroviário.

**Linha simples (ou singela):** Ocorre quando há uma só via onde os trens transitam nos dois sentidos, com cruzamentos feitos em desvios.

**Locomotiva escoteira:** É o deslocamento de uma ou mais locomotivas sem o acoplamento de vagões vazios ou carregados.

**Material rodante:** Compõem-se de material de tração, carros de passageiros, vagões para mercadorias, animais, bagagens, etc.

**Ocorrência operacional:** É qualquer evento que degrada a circulação prevista na programação dos trens metropolitanos, medida em minutos, cumulativamente.

**Pátio:** Grande área de terreno, mais ou menos nivelada. Áreas externas em torno das estações, oficinas, depósitos etc., onde se colocam desvios. Área de esplanada em que um conjunto de vias é preparado para formação de trens, manobras e estacionamento de veículos ferroviários e outros fins.

**Ramal:** Trecho de linha que se destaca da linha tronco (principal) da estrada. Linha férrea que se deriva de um tronco ferroviário.

**Regularidade:** É o efetivo cumprimento das programações dos serviços, de horários e intervalos estabelecidos para a operação comercial normal.

**Transit time:** Padrão de tempo, que se assume em qualquer ordem, para o movimento físico de itens de uma operação à outra.

**Trecho crítico:** Trecho de via permanente que apresenta condições técnicas desfavoráveis, provocando limitações à tração na seção considerada.

**Trem de carga:** É uma composição ferroviária, formada por vagões (carregados ou não) tracionados por locomotivas, que se destinam ao transporte de produtos, isto é, toda aquela que circula para servir o interesse do fluxo de cargas.

**Trens de serviço:** É uma composição de locomotivas acopladas a vagões e/ou guindaste para atendimento a ocorrências ferroviárias ou serviços de via permanente.

**Variante:** Alteração apreciável introduzida no traçado existente ou projetado. Trecho de linha construído posteriormente, para encurtamento, retificação, melhoria de condições técnicas (rampas, curvas etc), ou desafogo de parte do traçado. Destaca-se em certo ponto da linha primitiva, para retomá-la mais adiante. Há variantes que são construídas apenas em caráter provisório.

**Velocidade Comercial do Trem:** A que corresponde à média do tempo gasto para percorrer a distância entre dois pontos, inclusive o tempo de parada nas estações intermediárias.

## ANEXO II

### Intervalos entre trens na CPTM por trecho

Trecho Rio Grande da Serra – Luz			
Faixa horária Dias	Intervalo entre trens (minutos)		
	Dia útil	Sábado	Domingo e Feriado
04h00 às 09h00	08	12	15
09h00 às 15h00	12	12	15
15h00 às 20h00	08	12	15
20h00 às 24h00	15	15	20

Trecho Luz – Francisco Morato			
Faixa horária Dias	Intervalo entre trens (minutos)		
	Dia útil	Sábado	Domingo e Feriado
04h00 às 09h00	08	12	15
09h00 às 15h00	12	12	15
15h00 às 20h00	08	12	15
20h00 às 24h00	15	15	20

Trecho Francisco Morato – Jundiaí			
Faixa horária Dias	Intervalo entre trens (minutos)		
	Dia Útil	Sábado	Domingo e Feriado
04h00 às 20h00	22	22	30
20h00 às 24h00	22	30	30

Trecho Estudantes – Guaianazes			
Faixa Horária Dias	Intervalo entre trens (minutos)		
	Dia Útil	Sábado	Domingo e Feriado
04h00 às 09h00	09	10	12
09h00 às 15h00	10	10	12
15h00 às 20h00	09	10	12
20h00 às 24h00	12	12	12

Trecho Guaianazes – Luz			
Faixa Horária Dias	Intervalo entre trens (minutos)		
	Dia Útil	Sábado	Domingo e Feriado
04h00 às 09h00	06	10	12
09h00 às 15h00	10	10	12
15h00 às 20h00	06	10	12
20h00 às 24h00	12	12	12

Trecho Calmon Viana – Brás			
Faixa horária Dias	Intervalo entre trens (minutos)		
	Dia Útil	Sábado	Domingo e Feriado
04h00 às 09h00	08	12	15
09h00 às 15h00	12	12	15
15h00 às 20h00	08	12	15
20h00 às 24h00	20	20	20

ADAPTADO: MRS Logística (2008)

### ANEXO III

#### Restrição das composições na CPTM

Linhas A/D	00h00 às 04h00	04h00 às 09h00	09h00 às 15h00	15h00 às 21h00	21h00 às 24h00
Dia útil	800m	n/c	630m	n/c	630m
Sábado	800m	n/c	630m	630m	630m
Dom. e Fer.	800m	800m	800m	800m	800m

Linhas E/F	00h00 às 04h00	04h00 às 09h00	09h00 às 15h30	15h30 às 18h00	18h00 às 22h00	22h00 às 24h00
Dia útil	800m	n/c	600m	n/c	n/c	600m
Sábado	800m	n/c	600m	600m	800m	800m
Dom. e Fer.	800m	800m	800m	800m	800m	800m

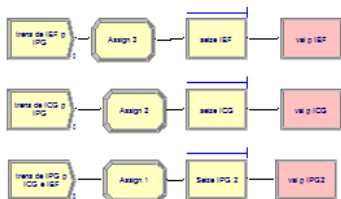
Intercambio Brás	00h00 às 04h00	04h00 às 09h00	09h00 às 10h15	10h15 às 14h30	14h30 às 18h00	18h00 às 24h00
Dia útil	800m	n/c	n/c	350m	n/c	n/c
Sábado	800m	n/c	350m	350m	350m	800m
Dom. e Fer.	800m	800m	800m	800m	800m	800m

(m) – metro (nc) - não circula trem de carga nestes horários

ADAPTADO: MRS Logística (2008)

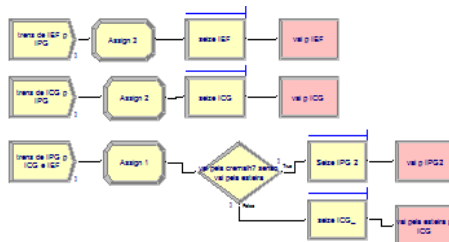
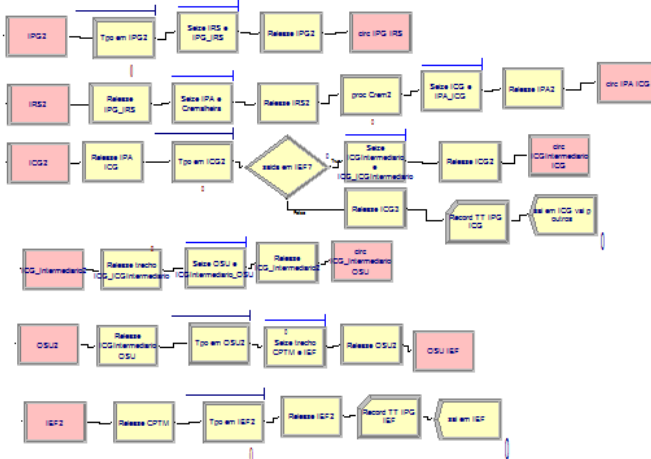
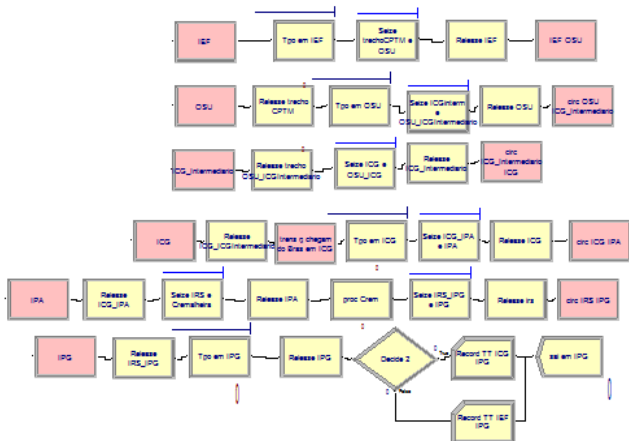
## ANEXO IV

### Modelos para os cenários simulados



Trens saindo de IEF e ICG sentido IPG

Trens saindo de IPG e indo sentido IEF e ICG



Trens saindo de IEF e ICG sentido IPG

Trens saindo de IPG e indo sentido IEF e ICG

