

## Índice

## Índice

<b>1. Apresentação</b>	<b>04</b>
<b>2. Mapa de Situação</b>	<b>08</b>
<b>3. Apresentação do Problema</b>	<b>10</b>
<b>4. Fundamentação Teórica</b>	<b>12</b>
<b>5. Premissas Utilizadas</b>	<b>12</b>
<b>6. Velocidade Diretriz</b>	<b>24</b>
<b>7. Geometria da Via</b>	<b>26</b>
<b>8. Seções de Via</b>	<b>28</b>
• Plano Via Esquemático	
• Trecho A	
• Trecho B	
• Trecho C	
• Trecho D	
• Trecho E	
<b>9. Diagrama Velocidade x Posição</b>	<b>35</b>
<b>10. Capacidade de Vazão da Via</b>	<b>43</b>
<b>11. Programa Horário / Grades Horárias</b>	<b>46</b>
<b>12. Esforço Trator Útil</b>	<b>54</b>
<b>13. Capacidade de Transporte</b>	<b>60</b>
<b>14. Indicadores de Ferrovia</b>	<b>65</b>
<b>15. Comentários</b>	<b>67</b>
<b>16. Conclusões</b>	<b>70</b>
<b>17. Gráficos de Velocidades</b>	<b>73</b>

## **1. Apresentação**

A Maia Melo Engenharia Ltda., empresa de consultoria sediada à Rua General Joaquim Inácio nº 136, Ilha do Leite, Recife-PE, fone (81) 3423.3977, fax (81) 3423.8477, e-mail: maia.melo@maiamelo.com.br, inscrita no CNPJ sob o nº 08.156.424/0001-51, apresenta à Secretaria de Desenvolvimento Econômico - SDEC, **Projeto Executivo de Engenharia da Ferrovia Transnordestina**, no trecho ferroviário abaixo descrito com as seguintes características:

Lote	:	02
Ferrovia	:	Transnordestina
Trecho	:	Salgueiro - Parnamirim - Riacho Santa Rosa
Extensão	:	127,48 km
Edital de Concorrência Pública	:	001/2005
Contrato	:	015/2005
Data da Ordem de Serviço	:	28/11/2005
Data da Assinatura do Contrato	:	18/11/2005
Data da Proposta	:	22/06/2005
Prazo de Execução	:	300 dias

Os volumes constituintes deste Relatório, estão assim discriminados:

- Volume 1 : Relatório do Projeto e Documentos para Concorrência
- Volume 2 : Projeto de Execução
- Volume 3 : Memória Justificativa
- Anexo 3A : Estudos Geotécnicos
- Anexo 3B : Memória de Cálculo das Obras de Artes Especiais
- Anexo 3C : Notas de Serviço e Cálculo de Volumes
- Anexo 3D : Projeto de Desapropriação
- Anexo 3E : Relatório Final de Avaliação Ambiental - RFAA
- Anexo 3F : Estudo Operacional
- Volume 4 : Projeto de Obras de Arte Especiais
- Volume 5 : Orçamento e Plano de Execução da Obra

O conteúdo de cada volume é descrito a seguir:

#### **Volume 1 - Relatório do Projeto e Documentos para Concorrência**

Este volume contém uma síntese dos serviços a executar e as especificações pertinentes aos serviços a serem executados. É apresentado no formato A4.

#### **Volume 2 - Projeto de Execução**

Este volume contém as plantas, listagem de serviços, projetos-tipo, seções transversais e demais informações de interesse para o Projeto. É apresentado no formato A3, em 2 tomos.

#### **Volume 3 - Memória Justificativa**

Este volume reúne todas as metodologias que possibilitaram a definição das soluções a serem adotadas para os diversos itens de serviços. Apresenta, também, todos os estudos

realizados que, de alguma forma, orientaram as tomadas de decisões com relação às soluções adotadas. É apresentado no formato A4.

### **Anexo 3A - Estudos Geotécnicos**

Este volume reúne todas as informações de campo e laboratório inerentes ao subleito, empréstimos, jazidas de solo, areais e pedreiras utilizados no projeto, além das sondagens a percussão executadas, visando o projeto das obras d'arte especiais. É apresentado no formato A4, em 3 tomos.

### **Anexo 3B – Memória de Cálculo das Obras de Arte Especiais**

Este volume apresenta todos os cálculos necessários à perfeita definição das estruturas a executar. É apresentado no formato A4, em 9 tomos.

### **Anexo 3C - Notas de Serviço e Cálculo de Volumes**

Este volume apresenta as Notas de Serviço e Cálculo de Volumes para o Projeto. É apresentado no formato A4.

### **Anexo 3D - Projeto de Desapropriação**

Contêm as desapropriações a serem efetuadas na faixa de domínio da ferrovia, apresentadas em formulário próprio, para cada proprietário, constando às características do imóvel e a sua avaliação. É apresentado no formato A4.

### **Anexo 3E – Relatório Final de Avaliação Ambiental - RFAA**

Este volume tem por finalidade apresentar o componente ambiental da ferrovia com destaque para a Caracterização Ambiental da Área de Influência do Projeto, Recuperação do Passivo Ambiental, Medidas de Proteção Ambiental da Obra e a Implantação de Programas Ambientais pertinente ao conjunto da obra planejada. É apresentado no formato A4.

### **Anexo 3F – Estudo Operacional**

Apresenta a concepção operacional dos trens nas vias e pátios, para atendimento da demanda projetada. É apresentado no formato A4.

### **Volume 4 – Projeto de Obras de Arte Especiais**

Este volume contém as plantas dos projetos das Obras de Arte Especiais a serem implantadas e demais informações de interesse para a execução das obras. É apresentado no formato A3.

### **Volume 5 – Orçamento e Plano de Execução da Obra**

Este volume apresenta o resumo dos preços, o demonstrativo do orçamento e as composições de preços unitários, elaboradas com base na metodologia vigente no Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes – DNIT, como também, o Plano de Execução da Obra, definindo o Plano de Ataque dos Serviços, Relação do Equipamento Mínimo e Cronograma. É apresentado no formato A4.

## **2. Mapa de Situação**

### **3. Apresentação do problema**

Com base na demanda definida nos estudos mercadológicos, a sazonalidade, as origens e destinos dos produtos, o projeto operacional deverá definir segundo o termo referência:

- Plano de vias, posicionamento e layout dos pátios ferroviários;
- Fluxos e frequência dos trens;
- Capacidade de carga;
- Dimensionamento de material rodante (frota de locomotivas e vagões);
- Dimensionamento de pessoal
- Acessos a terminais, inclusive portuários, e desvios de clientes;
- Localização de edificações de apoio à operação;
- Sistema de sinalização e comunicação;
- Planejamento anual de transporte ferroviário no trecho projetado para o período considerado na avaliação econômica;
- Sinalização de segurança de tráfego na ferrovia e PN'S;
- Memorial descritivo da solução operacional adotada.

## **4. Fundamentação teórica**

O estudo para o qual esta proposta a metodologia desenvolvida, identificou uma carência de bibliografias que abordassem o assunto como tal, ou seja, há enfoques pontuais sem uma conotação sistemática.

Após relacionar as principais atividades para o estudo, buscou-se conceituá-las e fundamentar estes conceitos, referenciando-os com bibliografias existentes, quando possível.

No desenvolvimento da metodologia, optou-se por não fazer referências no momento da abordagem, para fazê-las somente nesta fundamentação teórica.

O foco principal da metodologia proposta é a elaboração de um elenco de atividades que devem ser desenvolvidas. As principais para um estudo desta natureza são de acordo com VALENTE (1997:4):

- Características geométricas

São apresentados dados como extensão de cada trecho, raio mínimo e rampa máxima, no sentido importação e exportação, cujos parâmetros são definidos pela ABNT.

- Características operacionais

Os dados analisados são aqueles relacionados com os seguintes sistemas:

- Sinalização e tele comunicações

Sobre sinalização, pode-se dividi-la em estática e dinâmica, sendo que a primeira se refere à sinalização vertical existente ao longo da via, como marcos quilométricos, placas de velocidade, de passagem de nível, etc. Já a segunda se refere às cancelas de passagem de nível, sinaleiras, etc.

Em relação às telecomunicações, estas evoluíram desde o telefone a magneto, ao celular, a sistemas de monitoramento, como o GPS. Mas basicamente conservam a estrutura composta por um Centro de Controle e os sistemas auxiliares, como as estações de cruzamento que fazem o licenciamento entre os vãos anterior e posterior.

- Estações de cruzamento

Define-se a localização das estações de cruzamento, com as suas respectivas posições quilométricas e seus comprimentos úteis, observando os conceitos apresentados por BRINA (1983).

- Tempos de percurso

Os tempos de percurso entre uma estação e a seguinte, no sentido exportação e importação, são determinados em função da velocidade diretriz do trecho, observando-se as restrições impostas pela geometria da via e pelo estado de conservação da mesma. Obtém-se, desta forma, o tempo total de viagem do início ao final do trecho em análise. Para o caso de uma ferrovia existente, o concessionário da via poderá fornecer esse tipo de informação.

- Capacidade de tráfego

Para estabelecer a capacidade de tráfego da linha, toma-se por base o trecho crítico que é aquele que tem o maior tempo de percurso em função das suas características, como raios de curva, rampas e trem tipo (peso da composição e capacidade de tração das locomotivas). Calcula-se, deste modo, o número de trens possíveis nesse trecho, através da fórmula de Colson:

$$N_t = \frac{k_1 \times k_2 \times p_t}{(t_e + t_i + t_0)}$$

Onde:

NT => número máximo de trens a circular nos dois sentidos no trecho considerado.

K1 => coeficiente de ajuste de tráfego, para cobrir atrasos e outras retenções:

Adotado K1 = 0,82 face ao sistema de licenciamento e controle e as práticas operacionais existentes;

K2 => coeficiente relativo à ocupação para manutenção e outros impedimentos da via, adotado K2 = 0,86 que corresponde a um impedimento da ordem de 3 horas e 20 minutos por dia, em média;

Pt => Peso do trem ou da composição

te => tempo de percurso no sentido exportação;

ti => tempo de percurso no sentido importação;

to => tempo tomado no cruzamento, normalmente igual a 10 minutos;

O tamanho das composições fica limitado ao menor comprimento útil do desvio de cruzamento existente no trecho, ou se o trem for maior terá preferência nos cruzamentos. É preciso conhecer, portanto, o comprimento útil dos desvios existentes na linha para que seja possível dimensionar a composição, com locomotiva(s) de comprimento de 22,05 m e vagões com 19,160 m cada.

Conhecendo o carregamento médio dos vagões (130.000,00 kg para bitola 1,60m), combinando com o número máximo de trens diários e o comprimento máximo do trem, determina-se a capacidade teórica da linha.

- Capacidade de tração

A partir da definição do tipo de locomotiva que será usada na operação e do conhecimento das suas características (potência total, potência disponível para tração, arranjo dos eixos, esforço de tração contínuo, velocidade máxima contínua e peso total), pode-se determinar o peso médio da composição.

Para cada locomotiva, sentido exportação e importação. Um dos métodos para cálculo de lotação utilizado pela RFFSA e pelas atuais concessionárias é o processo denominado de lotação ajustada, onde a cada vagão é adicionado um peso fictício, denominado Carro Fator, para compensar as diferenças de resistência normal ao rolamento entre veículos vazios e carregados, tanto no sentido exportação como no de importação.

- Gabarito para o tráfego

É a seção (largura e altura) adotada possível de comportar o tráfego das diferentes composições pelas obras de arte especiais (túneis, pontes e viadutos) existentes ou a serem construídas ao longo da linha.

Ao definir a classe da via, estes parâmetros ficam estabelecidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT.

- Elementos da superestrutura

A análise dos principais componentes da superestrutura é feita levando em conta aspectos econômicos, uma vez que já houve a definição destes do ponto de vista técnico. Os elementos mais representativos são abordados a seguir:

- Trilhos – conforme apresenta BRINA (1983:63), há vários tipos de trilhos que podem atender às necessidades do projeto. Cabe questionar após a definição do tipo, o comprimento da barra, o que poderá se transformar em significativa economia de talas de junção ou mesmo de soldas (elétricas ou aluminotérmicas).

- Dormentes e fixações – há três tipos de dormentes: madeira, aço e concreto. O de madeira vem perdendo espaço pela escassez de essências adequadas e pelo controle ambiental existente sobre as áreas onde há essas espécies. Portanto, mesmo com custo mais alto os dormentes de aço e concreto têm sido os mais empregados. Em relação às fixações, estas podem ser rígidas ou elásticas, segundo BRINA (1983:72).
- Análise econômica do projeto

Segundo VALENTE (1998:130), uma avaliação econômica de um projeto consiste em estudar, e diante aplicação de critérios de rentabilidade econômica (Valor Atual, Benefício/Custo ou Taxa Interna de Retorno) a viabilidade de executar um conjunto de obras em um determinado trecho, novo ou existente.

Uma vez estabelecidos os parâmetros para a análise como meta do projeto, TKU (total de toneladas transportadas por quilômetro útil), horizonte do projeto, depreciação, alíquota de Imposto de Renda, custos operacionais, o investimento total e condições de financiamento, é possível avaliar a pré-viabilidade do investimento usando um dos critérios citados no parágrafo anterior.

Cabe ainda ressaltar que a diferença entre pré-viabilidade e viabilidade está no nível de precisão na obtenção dos parâmetros do projeto, sendo que para a primeira estes poderão ser, pois servirão basicamente para dar uma noção de grandeza do investimento.

## **5. Premissas Utilizadas**

Foram consideradas premissas básicas para fundamentar o desenvolvimento do raciocínio lógico e chegar ao produto final pretendido, quais sejam:

- O trem característico estabelecido para o estudo é composto por locomotivas de 4.300HP, do tipo SD70M-2DC traction e vagões de uma frota composta por Hopper Fechado tipo HFT, por ser o vagão mais representativo, dentre os que serão utilizados no transporte, estando desta forma, para efeito de cálculos, a favor da segurança.
- A velocidade diretriz do trecho em estudo é de 80 km/h
- Os Aparelho de Mudança de Via (AMV) utilizados na linha principal possui abertura de 1:14 tipo UIC 60 permitindo a circulação de trens em sentido reverso com velocidade de até 80 km/h.
- A extensão dos pátios previstos para o cruzamento dos trens no trecho em estudo é de 2.500 metros úteis (distância entre marcos de entrevia).
- Foi considerado que na primeira etapa da construção da via, do trecho em estudo Salgueiro – Parnamirim – Riacho Santa Rosa, serão implementados dois pátios de cruzamento, dos quatro previstos até o final do projeto.
- O estudo operacional se restringe ao trecho em análise Salgueiro – Parnamirim – Riacho Santa Rosa, em função do desconhecimento das informações pertinentes ao trecho subsequente.

- No exercício de simulação para determinar os tempos de circulação dos trens característicos considerou-se que todos os vagões previstos no sentido exportação estarão carregados.
- Adotou-se neste estudo que o trem no sentido de exportação, terá sempre prioridade na circulação e como tal, nos cruzamentos previstos, os trens no sentido de importação aguardarão a passagem do primeiro.
- No cálculo dos tempos de circulação dos trens foi atribuído valor mínimo de 7 min para o cruzamento dos trens, o que pressupõe um sistema de licenciamento moderno e eficiente.
- Considerando-se que, no âmbito deste trabalho, não se tem conhecimento da demanda existente com origens e destinos definidos, não foi feito qualquer cálculo para estabelecer a frota de vagões e locomotivas necessárias.
- O cálculo dos percursos dos trens a serem utilizados no trecho de ferrovia a ser construído, Salgueiro – Parnamirim – Riacho Santa Rosa, foi realizado levando-se em conta os dados do perfil geométrico disponibilizado, o tipo de locomotiva e dos vagões escolhidos.
- Dados da Locomotiva

Para o trabalho em questão ficou pré-estabelecido que a locomotiva a ser utilizada, será a SD70M-2 DC Traction de fabricação General Motors, cujas características encontram-se registradas a seguir.

Ressalta-se que o tipo de locomotiva, necessária ao deslocamento dos vagões, influencia diretamente na determinação da capacidade prática do sistema, pois delas dependem, o tamanho e velocidade do trem, os quais, por sua vez, afetam os percursos.

## LOCOMOTIVA EMD 4.300 CAVALOS



Obs.: Foto meramente ilustrativa

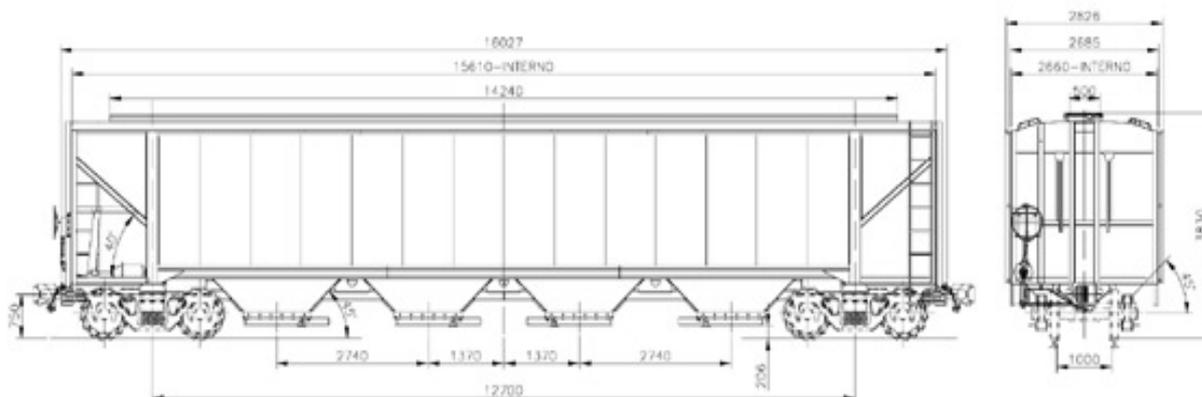
CARACTERÍSTICAS DA LOCOMOTIVA		
ELEMENTOS	UNIDADE	VALORES
Peso Aderente	kg	180.000
Área Frontal	M2	14,89
Aderência	%	28
Largura	m	3,27
Altura	m	4,85
Nº. de Eixos	ud	06
Peso Bruto	kg	180.000
Velocidade Máxima de Operação	Km/h	112,85
Velocidade Mínima de Operação	Km/h	19,00
Esforço Trator de Partida	kg	73.936,80
Esforço Trator Contínuo	kg	51.302,00
Base Rígida	m	4,06
Esforço de Frenagem	Kgf	39.400,00
Comprimento Geral	m	22,05
Capacidade de Combustível	L	18.500,00
Capacidade de óleo de Lubrificação	L	1.650,00

- Dados do Vagão Hopper

### VAGÃO HOPPER FECHADO TIPO HFT



Obs.: Foto meramente ilustrativa



CARACTERÍSTICAS DO VAGÃO HOPPER Tipo HFT		
ELEMENTOS	UNIDADE	VALORES
Capacidade Nominal	M3	150,00
Tara Estimada	kg	31.000,00
Peso Bruto Máximo	kg	130.000,00
Bitola	M	1,60
Comprimento Total	M	19,160
Altura Total	M	4,623

Com os dados preliminares passou-se ao exercício da simulação operacional do sistema ferroviário objetivando dentre outros aspectos, conhecer a capacidade bruta (ton) do trecho, o tempo de percurso dos trens, o comportamento das velocidades desenvolvidas nos diversos trechos pelo trem e conseqüentemente elaborar o programa horário para os mesmos, assim como identificar a capacidade máxima de trens em circulação por dia.

- PÁTIOS DE CRUZAMENTO

Pátio são conjuntos de linhas localizadas ao longo de uma ferrovia com finalidade de desmembrar e formar trens para atender a programação de transporte.

Terminais são conjuntos formados por diversos subpátios e instalações de carregamento, descarga e manutenção.

Temos ainda:

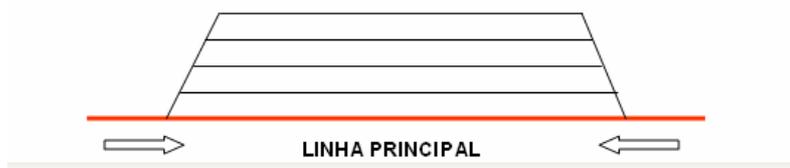
ELEMENTOS		DESCRIÇÃO
PÁTIO	LINHAS PRINCIPAIS	Linhas pelas quais circulam os trens que chegam, saem ou passam direto pelos pátios.
	LINHAS SECUNDÁRIAS	Linhas nas quais os trens são desviados e onde se realizam as operações ferroviárias.
TERMINAIS	LINHAS PRINCIPAIS	Linhas pelas quais circulam os trens das principais instalações dos terminais.
	LINHAS SECUNDÁRIAS	Linhas para as quais os veículos são desviados para operações secundárias.

Esquemáticamente temos, por exemplo, “Pátio de Cruzamento” e “Pátio de Pequena Movimentação” como podem ver as figuras abaixo:

**PÁTIO DE CRUZAMENTO:** cruzamento de trens em linha singela



**PÁTIO DE PEQUENA MOVIMENTAÇÃO:** manobra interfere na linha principal



O projeto da ferrovia transnordestina para o trecho compreendido entre os municípios de Salgueiro – Parnamirim – Riacho Santa Rosa, estado de Pernambuco, prevê a construção de 02 (dois) pátios de cruzamento até o final da obra.

Estes pontos possuirão plataforma em nível com extensão mínima de 2.657,98m, e PSG (Pátio de Salgueiro) com 2700,00 metros, nos quais serão implantadas as linhas de cruzamento, com distâncias de marcos de entrevista de 2.500 metros.

O quadro a seguir registra a localização destes pátios, a saber:

<b>LOCALIZAÇÃO DOS PÁTIOS</b>			
<b>PÁTIOS</b>	<b>ESTACA INICIAL</b>	<b>ESTACA FINAL</b>	<b>EXTENSÃO (m)</b>
PÁTIO DE SALGUEIRO	1290 + 0,00	1425 + 0,00	2700,00
PÁTIOS DE TRANSIÇÃO-PO9	2197 + 0,00	2329 + 17,98	2657,98
PÁTIOS DE TRANSIÇÃO-PO8	3582 + 0,00	3714 + 17,98	2657,98
PÁTIOS DE TRANSIÇÃO-PO7	5028 + 10,00	5161 + 7,98	2657,98
PÁTIOS DE TRANSIÇÃO- PO6	6160 + 0,00	6292 + 17,98	2657,98

#### **PÁTIO DE SALGUEIRO**

<b>EST. INICIAL</b>	<b>EST. FINAL</b>	<b>EXT. (m)</b>	<b>LARG. ENTREVIAS</b>	<b>LARGURA MÁXIMA</b>
1290 + 0,00	1425 + 0,00	2.700	4,50 m	247,30

#### **PÁTIO DE TRANSIÇÃO**

<b>PÁTIO</b>	<b>EST. INICIAL</b>	<b>EST. FINAL</b>	<b>EXT. (m)</b>	<b>LARG. ENTREVIAS</b>	<b>LARGURA MÁXIMA</b>
PO9	2197 + 0,00	2329 + 17,98	2.500	4,50 m	11,80 m
PO8	3582 + 0,00	3714 + 17,98	2.500	4,50 m	11,80 m
PO7	5028 +10,00	5161 + 7,98	2.500	4,50 m	11,80 m
PO6	6160 + 0,00	6292 + 17,98	2.500	4,50 m	11,80 m

## **6. Velocidade Diretriz**

A velocidade diretriz é utilizada com o objetivo de desenvolver um projeto geométrico (traçado em planta e em perfil) que associado às características técnicas dos materiais a serem empregados na construção de um trecho ferroviário permita que os trens que vierem a trafegar no mesmo consigam praticar a velocidade estabelecida com segurança e eficiência.

A conservação das condições operacionais aos níveis em que foram projetadas será função direta do tipo, qualidade e programa de manutenção a ser empregada no trecho ferroviário.

Como é possível imaginar, a manutenção do trecho demandará a obtenção de faixas de trabalho na via, durante a qual não poderá trafegar trens. Desta forma fica claro que o planejamento da manutenção da via permanente terá uma parcela de influência no cálculo da capacidade de escoamento das cargas transportadas em uma ferrovia, devido a redução da quantidade de trens que circularão por dia.

Devido a falta de definição do plano de manutenção para a nova ferrovia foi estabelecido horários aproximados para realização de tais eventos. Nos anexos deste trabalho encontram-se os gráficos ilustrativos com as faixas de manutenção, as quais poderão ser alteradas, tanto em relação duração e início da faixa.

No presente estudo foi utilizado a premissa, constante no termo de referência, de que a velocidade diretriz para o tráfego de trens com absoluta segurança, ao longo da nova ferrovia será de 80 km/h. Esta foi utilizada nos cálculos necessários para o conhecimento das resistências naturais ao movimento dos trens.

## **7. Geometria da Via**

A via permanente, com todas as suas características técnicas, em um sistema ferroviário se apresentam como fator decisivo ao dimensionamento da frota de veículos ferroviários, velocidade operacional, percursos, quadro de lotação, localização dos pátios de cruzamento e eventualmente estações.

O projeto em análise prevê a construção de uma linha férrea singela no trecho compreendido entre os municípios de Salgueiro – Parnamirim – Riacho Santa Rosa localizados no estado de Pernambuco. Esta ferrovia que será construída deverá suportar velocidades de até 80 Km/h.

O projeto da via permanente estabeleceu rampa máxima compensada de 0,6% no sentido de exportação, enquanto que no sentido de importação o projeto estabelece rampa compensada de 1,00%. Com relação à planimetria da via, o raio mínimo de curva indicada no projeto geométrico é de 400 metros.

No esquema geral de via do lote 2 em anexo, os dados geométricos dos trechos encontram-se representados de forma associada e de fácil visualização, subdivididas em 5 trechos, a saber, (A, B, C, D, E).

De posse das diretrizes estabelecidas para a construção da via permanente, foram extraídos todos os parâmetros necessários, que são considerados no processo do cálculo iterativo utilizado para determinar, o tempo de viagem dos trens que circularão entre Salgueiro – Parnamirim – Riacho Santa Rosa.

## **8. Seções de Via**

## **9. Diagrama Velocidade x Posição**

Objetivando a obtenção do diagrama de velocidade versus posição para se encontrar o tempo de percurso, neste trabalho desenvolvemos uma simulação onde para cada posição da via, obtivemos a velocidade e o tempo de deslocamento. Deste modo conseguimos montar o diagrama velocidade x posição e a respectiva grade horária.

Como sabemos, a simulação de marcha constitui uma ferramenta poderosa no dimensionamento e operação de um sistema de tração elétrica. Naturalmente isto se deve ao fato da simulação de marcha fornecer como resultado a posição de um trem na via e em função desta posição, o tempo de percurso, a velocidade e a corrente elétrica dos motores de tração absorvida dentre outros parâmetros.

Sendo assim, objetivando calcular tais parâmetros, é estabelecida uma das variáveis da cinemática como independente (espaço percorrido ou tempo de percurso) e através de integrações sucessivas, determinam-se as demais. Pelo que aprendemos em Física, o movimento de um trem, definido pelo traçado da via, é similar ao de um ponto material.

$$(1) \text{ [Força resultante (Fr)]} = \text{[massa (m)]} \times \text{[aceleração (a)]}$$

$$(2) \text{ [Força aceleradora (resultante) (Fac)]} = \text{[Força de Tração (Ft)]} - \text{[Força de Resistência (R)]}$$

$$(3) \text{ [Força de Resistência(R)]} = \text{[Resistência Normal (Rn)]} + \text{[Resistência à rampa (Ri)]} + \text{[Resistência a curva (Rc)]}$$

(4) Deste modo:

$$F_{ac} = m \cdot a \Rightarrow F_{ac} = m \, dv/dt \Rightarrow dt = m \, dv/F_{ac} \Rightarrow$$

$$t = m \int_0^v dv / F_{ac}$$

onde:

[t ] tempo  
[m] massa total transportada  
[v] velocidade  
[F<sub>ac</sub> ] força aceleradora

Como [Peso]=[massa]\*[aceleração da gravidade (g)]  $\Rightarrow m = P/g$

Logo temos:

$$t = P/g \int_0^v dv / F_{ac} \quad (\text{equação 5})$$

De posse da equação (5) chegamos a seguinte conclusão:

Se obtivermos a equação de F<sub>ac</sub> em função da velocidade (v) podemos obter o tempo através do cálculo da integral expressa na equação (5).

Embora tenhamos conhecimento da existência de diversos simuladores, dentre eles destacamos o simulador de desempenho de trens desenvolvido pela Association of American Railroad (AAR), para realizar a simulação requerida neste documento, resolvemos desenvolver software específico que nos ajudasse a calcular a integral descrita na equação (5). Em síntese o software desenvolvido que intitulamos com SimulaTrem calcula através de métodos de cálculo numérico a integral descrita na equação (5) utilizando-se de dv na ordem de 0,001 km/h. O uso deste programa propiciou a obtenção dos dados obtidos nesta simulação em alguns cenários que vislumbramos neste trabalho, intitulados como:

Exportação – Etapa 1 onde o trem parte de P06 com velocidade zero, passando por P07 com a velocidade normal, passando por P08 com velocidade de 20 km/h, passando por P09 com velocidade normal e parando em PSG (Pátio de Salgueiro) conforme os dados de posição(km), velocidade(km/h) e tempo acumulado (minutos) apresentado neste trabalho que são os dados de saída do SimulaTrem;

Exportação – Etapa 2 onde se vislumbra que as plataformas P07 e P09 sejam construídas, e deste modo, o trem parte de P06 com velocidade zero, passando por P07 com a velocidade de 20 km/h, passando por P08 com velocidade de 20 km/h, passando por P09 com velocidade de 20 km/h e parando em PSG (Pátio de Salgueiro) conforme os dados de posição (Km), velocidade(km/h) e tempo acumulado (minutos) apresentado neste trabalho que são os dados de saída do SimulaTrem;

Importação – Etapa 1 onde o trem parte de PSG (Pátio de Salgueiro) com velocidade zero, passando por P09 com a velocidade normal, parando na plataforma P08 (velocidade igual a zero). Em seguida partindo de P08 com velocidade zero km/h, passando por P07 com velocidade normal e parando em P06 conforme os dados de posição (Km), velocidade(km/h) e tempo acumulado(minutos) apresentado neste trabalho que são os dados de saída do SimulaTrem;

Observação 1: Salientamos que o trecho do início do lote na posição zero quilômetro até o Pátio de Salgueiro (sentido importação) embora tenhamos calculado as velocidades e percursos admitindo a premissa de que no início do lote (Km zero) o trem partiu com velocidade zero, premissa esta que adotamos apenas para estimar o tempo de percurso mais sabemos de antemão que o início do lote não é uma plataforma e que sabemos que o trem neste ponto trafegará com uma velocidade diferente de zero e que por falta de informações sobre o próximo lote adotamos esta premissa e os resultados são meramente ilustrativos.

Importação – Etapa 2 onde se vislumbra que as plataformas P07 e P09 sejam construídas, e deste modo, o trem parte de PSG com velocidade zero, parando em P09. Em seguida partindo de P09 com velocidade zero e parando em P08. Partindo de P08 com velocidade zero e parando em P07. Partindo de P07 com velocidade zero e parando em P06, conforme os dados de posição(Km), velocidade(km/h) e tempo acumulado(minutos) apresentado neste trabalho fruto dos dados de saída do SimulaTrem; (Vide observação 1)

Diante da complexidade do assunto, arrimando-se no que preceitua os autores especialistas em Estradas de Ferro, para a elaboração do SimulaTrem adotamos algumas premissas básicas dentre elas:

**a) Quanto a Força de Tração**

Consideramos que a Força de Tração em função da velocidade é dada pela função:

$$F_t = P_a \times f_o / (1 + 0,001 \times v) \quad (\text{equação 6})$$

Onde adotamos:

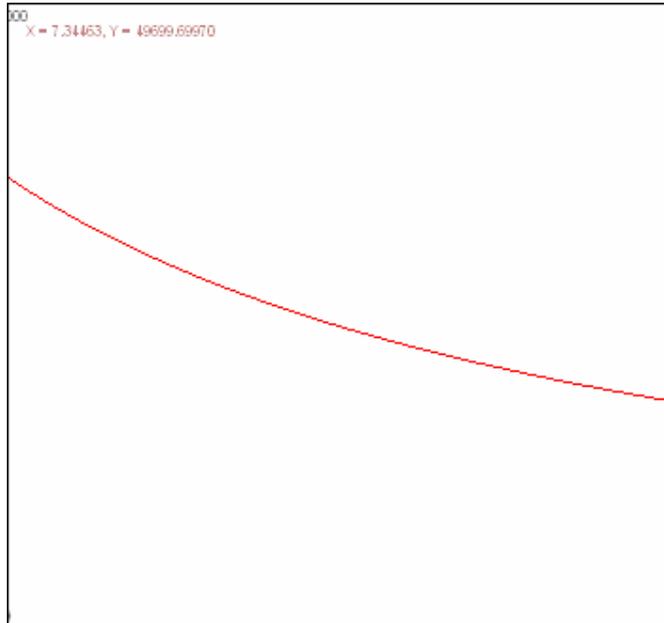
$$[P_a] = \text{Peso aderente da locomotiva igual a } 180000 \text{ kgf}$$

$$[f_o] = 0,20$$

e colocando estes valores na equação 6 obtemos:

$$F_t = 180000 \times 0,22 / (1 + 0,001 \times v) \quad (\text{equação 7})$$

Colocando a equação 7 no SimulaTrem obtemos a curva adiante descrita:



Deste modo a equação 7 conforme gráfico acima descreve a força de tração produzida pelos motores de tração da locomotiva.

Passamos agora a tecer comentários sobre as forças de RESISTÊNCIA que foram levadas em consideração no desenvolvimento do SimulaTrem. Como sabemos, as forças de RESISTÊNCIA são todas aquelas que se opõem ao movimento do trem, que em reta e nível, alicate, declive, superelevação e curva, se opõem ao movimento do trem. Dentre elas na literatura especializada observamos a existência de dois grupos de resistências:

#### a) **Resistências normais**

No que concerne às resistências normais podemos afirmar que são as resistências de toda a natureza, que em reta e nível, se opõem ao movimento do trem. Na literatura especializada, são dadas por fórmulas empíricas que foram desenvolvidas ao longo do tempo por diversos autores. Dentre estas fórmulas empíricas, destacam-se as desenvolvidas por W. J. Davis Jr. (1926), pois são ainda utilizadas no Brasil e nos Estados Unidos para quantificar as resistências normais do trem. Estas fórmulas empíricas são sempre um trinômio em função da velocidade. O termo constante em relação à velocidade compreende a resistência do rolamento dos aros das rodas sobre os trilhos e o atrito nos mancais do eixo. O termo diretamente proporcional à velocidade é devido principalmente à resistência de atrito do friso das rodas com os trilhos e também devido ao atrito causado pelas oscilações e balanços. Por fim, o termo dependente do quadrado da velocidade representa a parte aerodinâmica sendo sensível a diversos fatores como a forma frontal da composição, intervalo entre trens e saliências na estrutura.

Deste modo para efeito de cálculo da Resistência Normal utilizamos as fórmulas abaixo:

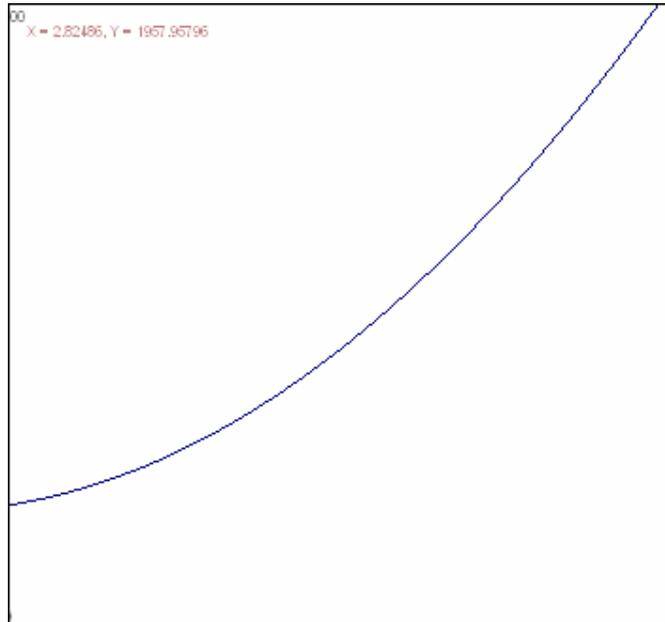
#### **Resistência Normal na Locomotiva**

$$R_{nl} = P_l \cdot (1,3 + (29/w) + 0,03 \cdot v + (0,0024 \cdot A)/(w \cdot n) \cdot v^2) \quad (\text{equação 8})$$

Deste modo na equação (8) colocando-se os valores das variáveis conhecidas obtemos a resistência  $R_{nl}$  em função da velocidade ( $v$ ) dada por:

$$R_{nl} = 180 * ( 1,3 + (29/33) + 0,03*v + (0,0024*160,27)/(33*6)*v^2) \quad (\text{equação 8a})$$

Colocando a equação 8a no SimulaTrem obtemos a curva adiante descrita:



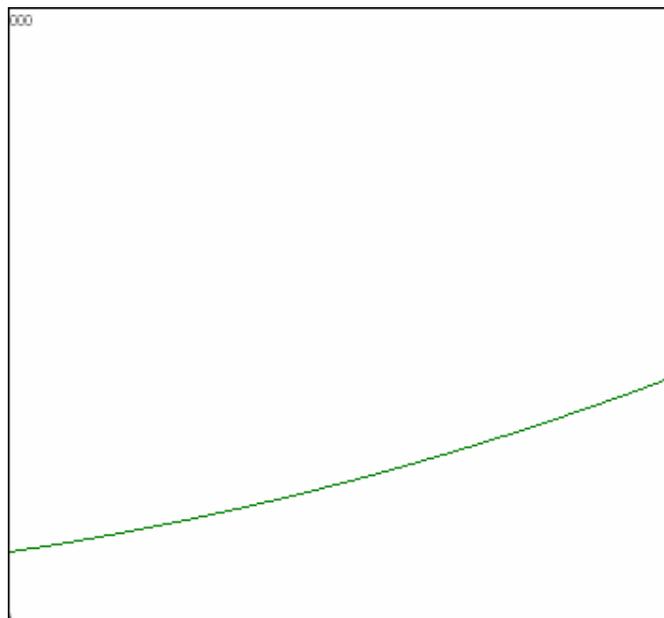
### Resistência Normal no vagão

$$R_{nv} = P_v * (1,3 + (29/w) + 0,045*v + (0,0005*A)/(w*n)*v^2) \quad (\text{equação 9})$$

Deste modo na equação (9) colocando-se os valores das variáveis conhecidas obtemos a resistência  $R_{nv}$  em função da velocidade ( $v$ ) dada por

$$R_{nv} = 5720 * ( 1,3 + (29/35,75) + 0,045*v + ((0,0005*158,64)/143)*v^2) \quad (\text{equação 9a})$$

Colocando a equação 9a no SimulaTrem obtemos a curva adiante descrita:



## **b) Resistências acidentais**

As resistências acidentais são classificadas em dois tipos: resistências devido às curvas e resistências devido às rampas.

### **b.1) Resistências devido às curvas**

A resistência acidental devido às curvas não pode ser avaliada teoricamente, nem medida separadamente. Ela é estabelecida também através de fórmulas empíricas que dão o valor da resistência  $R_c$  encontrada durante a circulação da composição em uma curva. Uma expressão bastante utilizada é a de Desdouits, dada por:

$$R_c = 4,9 \cdot b \cdot m / \rho$$

Onde:

[ $\rho$ ] é o raio de curvatura em metros;

[ $b$ ] é a bitola (distância entre os trilhos) em metros;

[ $m$ ] é a massa do trem em toneladas;

### **b.2) Resistências devido às rampas**

A resistência devido à gravidade  $R_i$  é decorrente dos aclives e declives ao longo do percurso. Assim, uma composição que se encontra em uma rampa pode ter o seu peso ( $m \cdot g$ ) decomposto em um componente normal (função do coseno do ângulo de inclinação da rampa) e em um outro tangencial (função do seno do ângulo de inclinação da rampa) à rampa.

A componente tangencial à rampa é a resistência devido às rampas. Contudo, para o caso da tração metro ferroviária, o seno do ângulo de inclinação da rampa é aproximadamente igual à tangente deste mesmo ângulo. Este fato é bastante conveniente uma vez que as rampas metro ferroviárias não são dadas em função do seu ângulo, mas sim em função da tangente deste ângulo, representado por  $i$ .

A seguinte expressão dá o valor da resistência devido às rampas.

$$R_i = m \cdot g \cdot i \cdot 10^{-3}$$

Onde:

[ $g$ ] é a aceleração da gravidade em metros por segundo ao quadrado;

[ $i$ ] é a inclinação da rampa em percentual (%);

[ $m$ ] é a massa do trem em toneladas;

É importante notar que os aclives introduzem uma resistência contra o movimento do trem enquanto que os declives atuam a favor do movimento, sendo este o único caso de resistência negativa em tração.

Deste modo finalmente conseguimos encontrar [Fac] em função da velocidade [v] e conforme citado anteriormente pudemos alimentar os dados de entrada do SimulaTrem e obter os dados de saída, dentre eles destacamos: o diagrama velocidade x posição, a grade horária dos trens e demais dados cujos valores estão contidos neste trabalho.

Conforme evidenciado nas fórmulas anteriormente descritas que foram levadas em consideração para a elaboração do SimulaTrem, ressaltamos que para a obtenção do cálculo dos percursos do trem, das velocidades e dos intervalos de tempo para cada trecho da via e para cada sentido de tráfego (Exportação e Importação) foram levados em consideração vários parâmetros relacionados com as características da via permanente, dentre eles destacamos: bitola, raios de curvatura, rampas dentre outras bem como os parâmetros relacionados ao trem que é formado por locomotiva(s) e vagões.

## **10. Capacidade de Vazão da Via**

As condições oferecidas pela ferrovia para a realização do transporte de carga são funções de determinadas características físicas relacionadas ao sistema ferroviário. Entre estas características se destacam aquelas vinculadas; à frota, a via permanente e as instalações fixas.

Entende-se por capacidade de tráfego ou vazão de um trecho ferroviário o número de trens que poderão circular num determinado intervalo de tempo (geralmente 24 horas).

No caso de linhas singelas, em que existem cruzamentos de trens, utiliza-se, tradicionalmente, a fórmula de COLSON.

$$C_p = K \times \frac{(1440 - T_m)}{(T_i + T_v + T_c)}$$

Onde:

C<sub>p</sub> - capacidade prática (pares de trens/dia)

K – coeficiente de irregularidade

T<sub>i</sub> – tempo de ida (min)

T<sub>v</sub> – tempo de volta (min)

T<sub>c</sub> – tempo de cruzamento (min)

T<sub>m</sub> – tempo de manutenção da via (min)

Conhecidos os percursos dos trens nos sentidos de exportação e importação, através do exercício de simulação realizado para os trens que circularão no trecho em estudo (primeira etapa – considerando um pátio de cruzamento), observa-se que os tempos se equivalem, como pode ser visto no quadro a seguir e respectivo gráfico.

## PERCURSO PATIOS PROJETADOS

Trecho	Tempo de Percurso	
	Ida (min.)	Volta (min.)
Pátio 06 - Pátio 08	63,75	63,1
Pátio 08 - Pátio Salgueiro	68,73	58,3

Estes tempos aplicados à fórmula de COLSON, permitem estimar que a capacidade de vazão da ferrovia com a configuração de três pátios e conseqüentemente um ponto de cruzamento, será de 14 pares de trens / dia.

Entretanto não podemos aplicar este numero de pares de trens em função da necessidade da implantação de mais um pátio de cruzamento.

O cálculo mais exato do numero de trens que podem circular em 24 horas (capacidade de tráfego) só poderá ser obtido "grafando-se" seus horários, desse modo obter-se-á, com maior aproximação, a capacidade de tráfego da linha.

Na nossa análise gráfica obtivemos que apenas podemos ter 10 pares de trens.

Quando da consolidação da segunda etapa no futuro, com a construção da complementação dos pátios projetados, os percursos serão os indicados na tabela a seguir.

## PERCURSO PATIOS PROJETADOS E PREVISTOS

Trecho	Tempo de Percurso	
	Ida (min.)	Volta (min.)
Pátio 06 - Pátio 07	37,49	41,08
Pátio 07 - Pátio 08	44,65	41,61
Pátio 08 - Pátio 09	39,19	46,89
Pátio 09 - Pátio Salgueiro	26,70	30,66

Nesta nova configuração, teremos três pontos de cruzamento, no estudo gráfico em anexo, a capacidade de vazão do trecho calculada é de 16 pares de trem.

**OBS:** Em função da falta de informação quanto à política de manutenção da via permanente, nos cálculos apresentados não foi levado em consideração o tempo necessário para tal finalidade. Ressalta-se, porém que para maior representatividade, foi adotada faixa de manutenção, em torno de 03 horas com suspensão da circulação de 1(hum) trem no gráfico saturado.

O tempo de cruzamento está composto por 7 min entre a chegada do primeiro trem em relação ao segundo, visando garantir a segurança operacional

## **11. Programa Horário / Grades Horárias**

**PROGRAMA HORÁRIO DOS TRENS DOS PATIOS PROJETADOS**

<b>PARTIDA DOS TRENS SENTIDO EXPORTAÇÃO</b>												
<b>Patio</b>	<b>Percurso(min.)</b>	<b>km</b>	<b>trem 1</b>	<b>trem 2</b>	<b>trem 3</b>	<b>trem 4</b>	<b>trem 5</b>	<b>trem 6</b>	<b>trem 7</b>	<b>trem 8</b>	<b>trem 9</b>	<b>trem 10</b>
Patio 06		125,858	1,55	142,58	283,61	424,64	565,67	706,7	847,73	988,76	1129,79	1270,82
Patio 08	63,75	74,298	65,3	206,33	347,36	488,39	629,42	770,45	911,48	1052,51	1193,54	1334,57

<b>PARTIDA DOS TRENS SENTIDO IMPORTAÇÃO</b>												
<b>Patio</b>	<b>Percurso(min.)</b>	<b>km</b>	<b>trem 1</b>	<b>trem 2</b>	<b>trem 3</b>	<b>trem 4</b>	<b>trem 5</b>	<b>trem 6</b>	<b>trem 7</b>	<b>trem 8</b>	<b>trem 9</b>	<b>trem 10</b>
Patio Salgueiro		28,500	0	141,03	282,06	423,09	564,12	705,15	846,18	987,21	1128,24	1269,27
Patio 08	68,73	74,298	65,3	206,33	347,36	488,39	629,42	770,45	911,48	1052,51	1193,54	1334,57

**PROGRAMA HORÁRIO DOS TRENS DOS PATIOS PROJETADOS COM MANUTENÇÃO**

<b>PARTIDA DOS TRENS SENTIDO EXPORTAÇÃO</b>											
<b>Patio</b>	<b>Percurso(min.)</b>	<b>km</b>	<b>trem 1</b>	<b>trem 2</b>	<b>trem 3</b>	<b>trem 4</b>	<b>trem 5</b>	<b>trem 6</b>	<b>trem 7</b>	<b>trem 8</b>	<b>trem 9</b>
Patio 06		125,858	1,55	142,58	283,61	424,64	706,7	847,73	988,76	1129,79	1270,82
Patio 08	63,75	74,298	65,3	206,33	347,36	488,39	770,45	911,48	1052,51	1193,54	1334,57

<b>PARTIDA DOS TRENS SENTIDO IMPORTAÇÃO</b>											
<b>Patio</b>	<b>Percurso(min.)</b>	<b>km</b>	<b>trem 1</b>	<b>trem 2</b>	<b>trem 3</b>	<b>trem 4</b>	<b>trem 5</b>	<b>trem 6</b>	<b>trem 7</b>	<b>trem 8</b>	<b>trem 9</b>
Patio Salgueiro		28,500	0	141,03	282,06	423,09	705,15	846,18	987,21	1128,24	1269,27
Patio 08	68,73	74,298	65,3	206,33	347,36	488,39	770,45	911,48	1052,51	1193,54	1334,57

**PROGRAMA HORÁRIO DOS TRENS DOS PATIOS PREVISTOS E PROJETADOS**

<b>PARTIDA DOS TRENS SENTIDO EXPORTAÇÃO</b>										
<b>Patio</b>	<b>Percurso(min.)</b>	<b>km</b>	<b>trem 1</b>	<b>trem 2</b>	<b>trem 3</b>	<b>trem 4</b>	<b>trem 5</b>	<b>trem 6</b>	<b>trem 7</b>	<b>trem 8</b>
Patio 06		125,858	-	11,12	104,38	197,64	290,90	384,16	477,42	570,68
Patio 07	37,49	103,228	-	48,61	141,87	235,13	328,39	421,65	514,91	608,17
Patio 08	44,65	74,298	0,00	93,26	186,52	279,78	373,04	466,30	559,56	652,82
Patio 09	39,19	46,598	39,19	132,45	225,71	318,97	412,23	505,49	598,75	692,01

<b>Patio</b>	<b>Percurso(min.)</b>	<b>km</b>	<b>trem 9</b>	<b>trem 10</b>	<b>trem 11</b>	<b>trem 12</b>	<b>trem 13</b>	<b>trem 14</b>	<b>trem 15</b>	<b>trem 16</b>
Patio 06		125,858	663,94	757,20	850,46	943,72	1036,98	1130,24	1223,50	1316,76
Patio 07	37,49	103,228	701,43	794,69	887,95	981,21	1074,47	1167,73	1260,99	1354,25
Patio 08	44,65	74,298	746,08	839,34	932,60	1025,86	1119,12	1212,38	1305,64	-
Patio 09	39,19	46,598	785,27	878,53	971,79	1065,05	1158,31	1251,57	1344,83	-

<b>PARTIDA DOS TRENS SENTIDO IMPORTAÇÃO</b>										
<b>Patio</b>	<b>Percurso(min.)</b>	<b>km</b>	<b>trem 1</b>	<b>trem 2</b>	<b>trem 3</b>	<b>trem 4</b>	<b>trem 5</b>	<b>trem 6</b>	<b>trem 7</b>	<b>trem 8</b>
Patio 07		103,228	48,61	141,87	235,13	328,39	421,65	514,91	608,17	701,43
Patio 08	44,65	74,298	0,00	93,26	186,52	279,78	373,04	466,30	559,56	652,82
Patio 09	39,19	46,598	-	39,19	132,45	225,71	318,97	412,23	505,49	598,75
Patio Salgueiro	26,70	28,500	-	1,53	94,79	188,05	281,31	374,57	467,83	561,09

<b>Patio</b>	<b>Percurso(min.)</b>	<b>km</b>	<b>trem 9</b>	<b>trem 10</b>	<b>trem 11</b>	<b>trem 12</b>	<b>trem 13</b>	<b>trem 14</b>	<b>trem 15</b>	<b>trem 16</b>
Patio 07		103,228	794,69	887,95	981,21	1074,47	1167,73	1260,99	1354,25	-
Patio 08	44,65	74,298	746,08	839,34	932,60	1025,86	1119,12	1212,38	1305,64	-
Patio 09	39,19	46,598	692,01	785,27	878,53	971,79	1065,05	1158,31	1251,57	1344,83
Patio Salgueiro	26,70	28,500	654,35	747,61	840,87	934,13	1027,39	1120,65	1213,91	1307,17

**PROGRAMA HORÁRIO DOS TRENS DOS PATIOS PREVISTOS E PROJETADOS COM MANUTENÇÃO**

<b>PARTIDA DOS TRENS SENTIDO EXPORTAÇÃO</b>									
<b>Patio</b>	<b>Percurso(min.)</b>	<b>km</b>	<b>trem 1</b>	<b>trem 2</b>	<b>trem 3</b>	<b>trem 4</b>	<b>trem 5</b>	<b>trem 6</b>	<b>trem 7</b>
Patio 06		125,858	-	11,12	104,38	197,64	290,90	384,16	477,42
Patio 07	37,49	103,228	-	48,61	141,87	235,13	328,39	421,65	514,91
Patio 08	44,65	74,298	0,00	93,26	186,52	279,78	373,04	466,30	746,08
Patio 09	39,19	46,598	39,19	132,45	225,71	318,97	412,23	505,49	785,27

<b>Patio</b>	<b>Percurso(min.)</b>	<b>km</b>	<b>trem 8</b>	<b>trem 9</b>	<b>trem 10</b>	<b>trem 11</b>	<b>trem 12</b>	<b>trem 13</b>	<b>trem 14</b>
Patio 06		125,858	757,20	850,46	943,72	1036,98	1130,24	1223,50	1316,76
Patio 07	37,49	103,228	794,69	887,95	981,21	1074,47	1167,73	1260,99	1354,25
Patio 08	44,65	74,298	839,34	932,60	1025,86	1119,12	1212,38	1305,64	-
Patio 09	39,19	46,598	878,53	971,79	1065,05	1158,31	1251,57	1344,83	-

<b>PARTIDA DOS TRENS SENTIDO IMPORTAÇÃO</b>									
<b>Patio</b>	<b>Percurso(min.)</b>	<b>km</b>	<b>trem 1</b>	<b>trem 2</b>	<b>trem 3</b>	<b>trem 4</b>	<b>trem 5</b>	<b>trem 6</b>	<b>trem 7</b>
Patio 07		103,228	48,61	141,87	235,13	328,39	421,65	514,91	794,69
Patio 08	44,65	74,298	0,00	93,26	186,52	279,78	373,04	466,30	746,08
Patio 09	39,19	46,598	-	39,19	132,45	225,71	318,97	412,23	505,49
Patio Salgueiro	26,70	28,500	-	1,53	94,79	188,05	281,31	374,57	467,83

<b>Patio</b>	<b>Percurso(min.)</b>	<b>km</b>	<b>trem 8</b>	<b>trem 9</b>	<b>trem 10</b>	<b>trem 11</b>	<b>trem 12</b>	<b>trem 13</b>	<b>trem 14</b>
Patio 07		103,228	887,95	981,21	1074,47	1167,73	1260,99	1354,25	-
Patio 08	44,65	74,298	839,34	932,60	1025,86	1119,12	1212,38	1305,64	-
Patio 09	39,19	46,598	785,27	878,53	971,79	1065,05	1158,31	1251,57	1344,83
Patio Salgueiro	26,70	28,500	747,61	840,87	934,13	1027,39	1120,65	1213,91	1307,17

## **12. Esforço Trator Útil**

Na ferrovia são inúmeros os fatores que interagem com os equipamentos de transporte e como tal impõem determinadas resistências ao movimento do comboio ferroviário, estas resistências representam impactos significativos no dimensionamento do Esforço Trator Útil.

A literatura ferroviária elege como resistências mais significativas ao movimento dos trens:

- Resistência à inércia,
- Resistência normal,
- Resistência de curva
- Resistência de rampa

As quais atuam no comboio ferroviário que trafega em um determinado trecho.

Durante o trajeto percorrido pelo trem ele atingirá velocidades variadas, estando, entretanto limitado à máxima do trecho e a mínima de operação do trem. Esta velocidade mínima com que o trem de carga deverá transpor um trecho crítico, caracterizado por rampas e curvas, é definida pelo fabricante, a qual corresponde ao esforço trator contínuo da locomotiva. No caso específico foi utilizada a SD70M-2, com a velocidade mínima de 19 Km/h.

A resistência *normal* se manifesta através do atrito nos rolamentos, atritos nos flanges, e resistência por oscilação ao ar atmosférico.

A resistência de *curva* representa a componente das resistências oferecidas pelas curvas ao movimento do material rodante por atrito nos flanges, choques e arrastamentos.

A outra componente de resistência conhecida como resistência de rampa é influenciada significativamente pelos aclives e declives existentes ao longo do trecho.

“Conhecidas às resistências” totais, composta pela “resistência de inércia”, “resistência normal”, “resistência de curva” e “resistência de rampa” para a locomotiva, o passo seguinte é determinar o esforço **trator útil**, pois a tonelage possível de ser rebocada é determinada a partir do conhecimento do esforço trator útil nos engates das locomotivas.

Fica o registro de que a resistência total da locomotiva se altera com a variação das velocidades, das curvas e das rampas.

O esforço trator útil, portanto, é função do peso e resistência total da locomotiva.

A partir do cálculo do esforço trator útil, levando-se em consideração as curvas horizontais e verticais críticas do trecho e todas as variáveis envolvidas, foi calculada a capacidade máxima de tração em cada trecho da nova ferrovia.

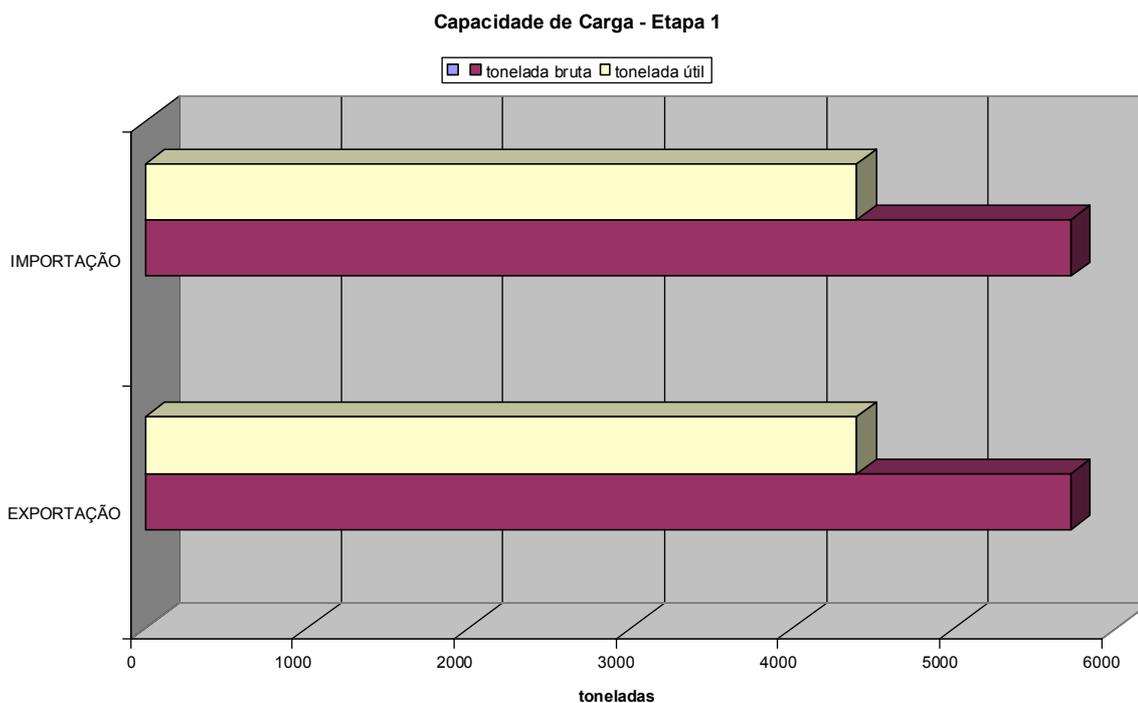
#### QUADRO DE LOTAÇÃO DO TREM POR TRECHO SENTIDO EXPORTAÇÃO - ETAPA 1

EXPORTAÇÃO - ETAPA 1				Capacidade Carga	
TRECHO	SENTIDO	RAIO ( $\rho$ ) [m]	RAMPA $i$ [%]	Tonelada bruta	Tonelada útil
C+B	P08-PSG	404,482	0,60	8060,0	6200,0
E+D	P06-P08	404,482	1,00	5720,0	4400,0

#### QUADRO DE LOTAÇÃO DO TREM POR TRECHO SENTIDO IMPORTAÇÃO - ETAPA 1

IMPORTAÇÃO - ETAPA 1				Capacidade Carga	
TRECHO	SENTIDO	RAIO ( $\rho$ ) [m]	RAMPA $i$ [%]	Tonelada bruta	Tonelada útil
B+C	PSG-P08	404,482	1,00	5720,0	4400,0
D+E	P08-P06	404,482	1,00	5720,0	4400,0

CAPACIDADE DE CARGA - ETAPA 1			
TRECHO	SENTIDO	Tonelada bruta	Tonelada útil
C+B+E+D	EXPORTAÇÃO	5720	4400
B+C+D+E	IMPORTAÇÃO	5720	4400



Com base nos dados acima levantados, temos no sentido importação os trechos limitadores que apresentam rampas compensadas equivalentes a 1%, assim sendo a nossa capacidade do trem ficaram limitados em 4.400 t por locomotiva.

No sentido de exportação, o trecho crítico está associado aos quilômetros com rampas compensadas de 0,6%, limitando-se a capacidade do trem a 4.400 t por locomotiva.

#### QUADRO DE LOTAÇÃO DO TREM POR TRECHO SENTIDO EXPORTAÇÃO – ETAPA 2

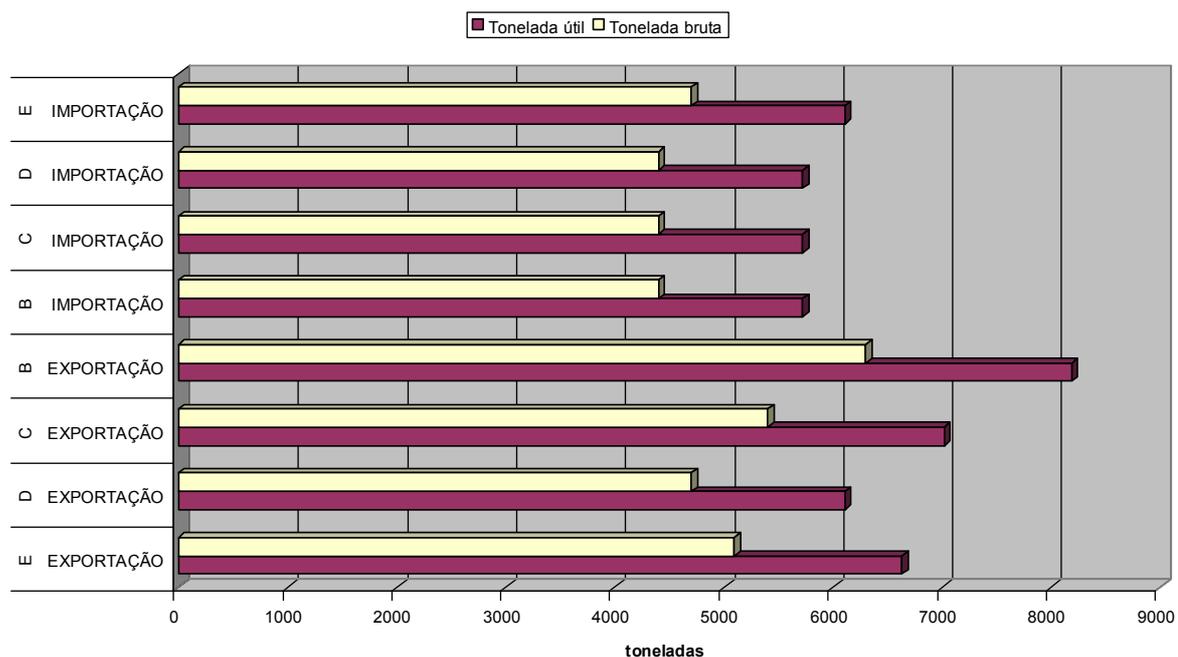
EXPORTAÇÃO - ETAPA 2				Capacidade Carga	
TRECHO	SENTIDO	RAIO ( $\rho$ ) [m]	RAMPA $i$ [%]	Tonelada bruta	Tonelada útil
E	P06-P07	625,072	0,90	6630,0	5100,0
D	P07-P08	404,482	0,90	6110,0	4700,0
C	P08-P09	404,482	0,75	7020,0	5400,0
B	P09-PSG	429,757	0,60	8190,0	6300,0

**QUADRO DE LOTAÇÃO DO TREM POR TRECHO  
SENTIDO IMPORTAÇÃO – ETAPA 2**

IMPORTAÇÃO - ETAPA 2				Capacidade Carga	
TRECHO	SENTIDO	RAIO ( $\rho$ ) [m]	RAMPA i [%]	Tonelada bruta	Tonelada útil
B	PSG-P09	429,757	1,00	5720,0	4400,0
C	P09-P08	404,482	1,00	5720,0	4400,0
D	P08-P07	404,482	1,00	5720,0	4400,0
E	P07-P06	625,072	1,00	6110,0	4700,0

CAPACIDADE DE CARGA - ETAPA 2			
TRECHO	SENTIDO	Tonelada bruta	Tonelada útil
E	EXPORTAÇÃO	6630	5100
D	EXPORTAÇÃO	6110	4700
C	EXPORTAÇÃO	7020	5400
B	EXPORTAÇÃO	8190	6300
B	IMPORTAÇÃO	5720	4400
C	IMPORTAÇÃO	5720	4400
D	IMPORTAÇÃO	5720	4400
E	IMPORTAÇÃO	6110	4700

Capacidade de Carga - Etapa 2



Com base nos dados acima levantados, temos no sentido importação os trechos limitadores que apresentam rampas compensadas equivalentes a 1%, assim sendo a nossa capacidade do trem ficaram limitados em 4.400 t por locomotiva.

No sentido de exportação, o trecho crítico está associado aos quilômetros com rampas compensadas de 0,9 %, limitando-se a capacidade do trem a 4.400 t por locomotiva.

Pelos dados apresentados o sentido exportação é maior que o de importação, em decorrência das características da via permanente, com referência a rampa compensada.

## **13. Capacidade de Transporte**

É a quantidade de comboios de carga que pode ser transportada, entre dois pontos em, uma linha ferroviária, sob determinadas condições de serviço, em um intervalo de tempo.

Nas três tabelas apresentadas abaixo, podemos ter uma real dimensão da capacidade do trecho que poderão ser transportados, onde são apresentadas as quantidades de toneladas úteis, por dia, mês e ano.

Em uma análise imediata nas tabelas simuladas, observamos que os números são bastante significativos.

Como foi adotado um único tipo de vagão na, no nosso estudo operacional, não se faz necessário o estudo do Carro Fator, já que desta forma, não teremos a preocupação de calcular a tonelada ajustada, que é usada quando lidamos com diversos tipos de vagões.

Em que pese não se dispor do estudo da demanda, podemos afirmar que as toneladas calculadas de carga geral a serem transportadas, são bastante representativas para o modelo ferroviário nacional atual. Outro aspecto importante a ser observado é o fato de que até ser atingido um transporte de 19 milhões de TU, serão necessários pátios com extensão de 1.000m.

<b>SIMULAÇÃO COM 2 LOCOMOTIVAS E 104 VAGÕES</b>		
Comprimento geral da Locomotiva	22,050	<i>metros</i>
Peso bruto da locomotiva	180000	<i>quilogramas</i>
Comprimento total do vagão	19,160	<i>metros</i>
Tara estimada do vagão	31000	<i>quilogramas</i>
Peso bruto máximo do vagão	130000	<i>quilogramas</i>
Tonelada útil do vagão	99000	<i>quilogramas</i>

Número de locomotivas	<b>2</b>	<i>unidade</i>
Número de vagões	<b>104</b>	<i>unidades</i>
Comprimento do trem	2036,74	<i>metros</i>
Tonelagem líquida	10296	<i>toneladas</i>
Tonelagem bruta	13880	<i>metros</i>

#### SEM MANUTENÇÃO

Cenário	Pares de trem	Tonelagem exportação		
		diária	mensal	anual
<b>ETAPA 1</b>	10	102.960	3.088.800	37.065.600
<b>ETAPA 2</b>	16	164.736	4.942.080	59.304.960

#### COM MANUTENÇÃO

Cenário	Pares de trem	Tonelagem exportação		
		diária	mensal	anual
<b>ETAPA 1</b>	9	92.664	2.779.920	33.359.040
<b>ETAPA 2</b>	14	144.144	4.324.320	51.891.840

<b>SIMULAÇÃO COM 1 LOCOMOTIVA E 52 VAGÕES</b>		
Comprimento geral da Locomotiva	22,050	<i>metros</i>
Peso bruto da locomotiva	180000	<i>quilogramas</i>
Comprimento total do vagão	19,160	<i>metros</i>
Tara estimada do vagão	31000	<i>quilogramas</i>
Peso bruto máximo do vagão	130000	<i>quilogramas</i>
Tonelada útil do vagão	99000	<i>quilogramas</i>

Número de locomotivas	<b>1</b>	<i>unidade</i>
Número de vagões	<b>52</b>	<i>unidades</i>
Comprimento do trem	1018,37	<i>metros</i>
Tonelagem líquida	5148	<i>toneladas</i>
Tonelagem bruta	6940	<i>metros</i>

<b>SEM MANUTENÇÃO</b>				
Cenário	Pares de trem	Tonelagem exportação		
		diária	mensal	anual
<b>ETAPA 1</b>	10	51.480	1.544.400	18.532.800
<b>ETAPA 2</b>	16	82.368	2.471.040	29.652.480
<b>COM MANUTENÇÃO</b>				
Cenário	Pares de trem	Tonelagem exportação		
		diária	mensal	anual
<b>ETAPA 1</b>	9	46.332	1.389.960	16.679.520
<b>ETAPA 2</b>	14	72.072	2.162.160	25.945.920

<b>SIMULAÇÃO COM 1 LOCOMOTIVA E 44 VAGÕES</b>		
Comprimento geral da Locomotiva	22,050	<i>metros</i>
Peso bruto da locomotiva	180000	<i>quilogramas</i>
Comprimento total do vagão	19,160	<i>metros</i>
Tara estimada do vagão	31000	<i>quilogramas</i>
Peso bruto máximo do vagão	130000	<i>quilogramas</i>
Tonelada útil do vagão	99000	<i>quilogramas</i>

Número de locomotivas	<b>1</b>	<i>unidade</i>
Número de vagões	<b>44</b>	<i>unidades</i>
Comprimento do trem	865,09	<i>metros</i>
Tonelagem líquida	4356	<i>toneladas</i>
Tonelagem bruta	5900	<i>metros</i>

#### SEM MANUTENÇÃO

Cenário	Pares de trem	Tonelagem exportação		
		diária	mensal	anual
<b>ETAPA 1</b>	10	43.560	1.306.800	15.681.600
<b>ETAPA 2</b>	16	69.696	2.090.880	25.090.560

#### COM MANUTENÇÃO

Cenário	Pares de trem	Tonelagem exportação		
		diária	mensal	anual
<b>ETAPA 1</b>	9	39.204	1.176.120	14.113.440
<b>ETAPA 2</b>	14	60.984	1.829.520	21.954.240

## **14. Indicadores de Ferrovia**

## **Indicadores de Ferrovia**

### **TU** - Tonelada Útil

Somatório das toneladas úteis transportadas na ferrovia.

### **TKU** - Tonelada Quilômetro Útil

Somatório dos produtos das toneladas úteis transportadas pelas quilometragens correspondentes.

### **TKB** - Tonelada Quilômetro Bruta

Somatório dos produtos das toneladas brutas transportadas pelas quilometragens correspondentes.

### **Ciclo de Trem**

Somatório dos tempos de viagem com as permanências dos trens nos terminais (carga e descarga).

**MTTR** (Mean Time To Recovery) - é o tempo médio de reparo;

**MKBF** (Mean Kilometers Between Failure) - é um índice de confiabilidade que mede a quantidade de falhas, ou avarias, por quilômetro rodado;

**MTBF** (Mean Time Between Failure) - é o tempo médio entre falhas.

## **15. Comentários**

Seguindo a corrente de VALENTE (1998:130), aproveitamos para caracterizar seus conceitos em uma avaliação econômica de um projeto em consistir estudar, mediante aplicação de critérios de rentabilidade econômica (Valor Atual, Benefício/Custo ou Taxa Interna de Retorno) a viabilidade de executar um conjunto de obras em um determinado trecho, novo ou existente.

Uma vez estabelecidos os parâmetros para a análise como meta do projeto, TKU (total de toneladas transportadas por quilômetro útil), horizonte do projeto, depreciação, alíquota de Imposto de Renda, custos operacionais, o investimento total e condições de financiamento, é possível avaliar a pré-viabilidade do investimento usando um dos critérios citados no parágrafo anterior.

A análise financeira do projeto avalia a capacidade de remunerar os investimentos alocados para o desenvolvimento do empreendimento ao longo do seu horizonte. Para tal é necessário definir um cronograma dos eventos principais para que seja elaborado o fluxo de caixa do empreendimento.

*Critérios* - Com o resumo dos investimentos e com o cronograma, o projeto passa a estabelecer os critérios para o desenvolvimento das alternativas propostas. Estes critérios são basicamente os seguintes:

- Meta do projeto – definida anteriormente e representada pelo total de toneladas a serem transportadas por ano.
- TKU – total de toneladas transportadas por quilômetro útil, obtida pelo produto da meta pela distância média de transporte.
- Horizonte do projeto – é o total de anos durante os quais a empresa terá a concessão do trecho. Normalmente, para projetos desta área o tempo é de 30 anos.
- Depreciação – o tempo considerado para a depreciação é o mesmo adotado como horizonte do projeto.
- Processo de avaliação – para a avaliação, utilizam-se métodos como do Valor Presente Líquido ou Taxa Interna de Retorno.
- Alíquota de Imposto de Renda
- Custos operacionais – os custos operacionais são aqueles apropriados para a operação da via e são iguais para qualquer alternativa que venha a ser examinada.
- Investimento total – a partir do montante a ser investido é montada a equação financeira do projeto, com a definição da origem dos recursos e de seus percentuais.
- *Alternativas* – As alternativas se referem as possibilidades de remuneração dos valores investidos e ficam representadas pelas diferentes tarifas que podem ser compostas.

Dado a falta de maiores informações que proporcione neste momento um enquadramento neste conceito acima exposto, fica o nosso registro que este roteiro apresentado, com certeza atenderá a expectativa de uma análise econômica bem mais detalhada.

Levando se em conta a ótica do projeto operacional para atender a expectativa do horizonte da demanda a ser transportada, e com essas definições localizar as estações, os tipos de equipamentos, definir a utilização de mais ou menos trens para o escoamento das cargas, programar a construção dos pátios de cruzamento por etapas, com intuito de viabilizar a circulação, e analisar a possibilidade de se optar por locomotivas mais modernas e econômicas na relação custo benefício, por se tratar de aquisição nova de material rodante, tudo isto reforçando que se deve ficar atento para uma avaliação técnico econômica, que se adeque ao projeto.

## **16. Conclusões**

O lote II tem uma particularidade que cabe registro, partindo com velocidade zero do Pátio de Salgueiro ao final do lote no sentido Exportação temos uma extensão de 25,8 km, no qual só foi possível simular o tempo e a velocidade com que o trem se encontra ao passar neste ponto. (ver gráfico em anexo).

Para complementar esta observação, também foi simulado no sentido Importação partindo do final do lote com velocidade zero ao Pátio de Salgueiro. (ver gráfico em anexo).

Ficando registrado estes intervalos de tempo que será útil em outra simulação, quando da solução que vier a ser adotada.

Este estudo fica carente de maiores informações e definições, em função de ser tratado como um lote isolado do resto do traçado.

A infra-estrutura da via nos pontos de cruzamento prevê pátios com 2.500 metros de comprimento útil.

O percurso do trem apresenta tempos compatíveis ao modal ferroviário em ambos os sentidos de tráfego.

Na construção de uma ferrovia, o estudo operacional associado ao projeto construtivo trará subsídios para sua concepção, com ganhos importantes em relação ao custo/benefício do empreendimento.

Os cálculos realizados através das simulações realizadas, demonstram que será possível escoar diversos patamares de carga e que os mesmos apresentam resultados representativos ao modal ferroviário no que se refere ao transporte de carga geral.

## **17. Gráficos de Velocidades**