



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**DANIEL DA SILVA PEREIRA**

**AVALIAÇÃO DO IMPACTO DE BARREIRAS FÍSICO-NATURAIS NO  
TRAÇADO DE FERROVIAS: O CASO DA BARRAGEM SERRO AZUL NA  
IMPLANTAÇÃO DA FERROVIA NOVA TRANSNORDESTINA**

**FORTALEZA**

**2013**

DANIEL DA SILVA PEREIRA

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DE BARREIRAS FÍSICO-NATURAIS NO TRAÇADO  
DE FERROVIAS: O CASO DA BARRAGEM SERRO AZUL NA IMPLANTAÇÃO DA  
FERROVIA NOVA TRANSNORDESTINA

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Civil do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará como requisito para obtenção do Título de Engenheiro Civil.

Orientador(a): Prof. Dr. Bruno Vieira Bertoncini

Fortaleza

2013

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

- 
- P490a Pereira, Daniel da Silva.  
Avaliação do impacto de barreiras físicos-naturais no traçado de ferrovias: o caso da Barragem Serro Azul na implantação da ferrovia nova transnordestina. / Daniel da Silva Pereira. – 2013.  
65f.: il. color.; 30 cm.
- Monografia (Graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Estrutural e Construção Civil, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2013.  
Orientação: Prof. Dr. Bruno Vieira Bertocini.
1. Ferrovia – interferência. 2. Barragem – construção. 3. Barreiras físico-naturais. I. Título.

**“ O único lugar onde o sucesso vem antes do trabalho é no dicionário.”**

*Albert Einstein*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pela vida e pela capacidade de raciocinar.

Aos meus pais, Chagas e Helena, pelo apoio, dedicação e cuidados durante toda a minha vida.

Aos meus irmãos, Denis e Diego, por estarem sempre ao meu lado, fazendo parte dos momentos mais importantes pelos quais já passei.

A minha noiva Flávia, pela paciência e motivação ao qual foram essenciais para a conclusão deste trabalho.

A todos os Professores da Universidade Federal do Ceará, que sempre foram uma fonte de dedicação e inspiração.

E a todos os meus amigos e companheiros do curso.

## RESUMO

Este trabalho tem por objetivo avaliar a influência da construção da barragem Serro Azul na implantação da Ferrovia Nova Transnordestina no interior de Pernambuco, comparando o traçado originalmente proposto com a proposição feita pelos projetistas devido à presença da barreira físico-natural imposta ao caminho original. Após o arrendamento para iniciativa privada da malha ferroviária brasileira, foram necessários 16 anos de operação para que o transporte ferroviário tivesse, novamente, papel fundamental na logística nacional. Ao longo dos últimos anos, registrou-se um crescimento gradativo na movimentação de cargas por este setor, mostrando ser o meio de transporte terrestre mais eficiente e viável para movimentação de grandes volumes de carga. Desta forma, o Governo Federal tem estimulado a implantação de novos trechos ferroviários no país, sendo que a Ferrovia Nova Transnordestina é tida como grande investimento do setor e com grande potencial social para a região. Contudo, tal projeto sofre com interferências de barreiras físico-naturais, o que tem obrigado à revisão de parte do traçado. Tal fato motivou a execução deste trabalho, cujo método comparará as alternativas apresentadas em função das alterações nos serviços de terraplenagem, mais especificamente nos volume de movimentação de terra, com a finalidade de possibilitar uma tomada de decisão quanto a essa nova condição imposta ao projeto ferroviário.

**Palavras-Chave:** Ferrovia Transnordestina; barragem Serro Azul; barreiras físico-naturais.

## ABSTRACT

This work aims to evaluate the influence of dam construction Serro Azul deployment Railroad New Transnordestina the interior of Pernambuco , comparing the originally proposed route to the proposition made by the designers due to the presence of physical-natural barrier imposed on the original path . After the lease to private initiative of the Brazilian rail network, 16 years of operation for the railway had key role again in the national logistics were needed. Over the past few years , there was a gradual growth in cargo handling by this industry , proving to be the most efficient means of land transport and feasible to move large volumes of cargo. Thus, the federal government has encouraged the establishment of new rail segments in the country, and the New Train Transnordestina is considered large investment in the sector and with great social potential for the region. However, this design suffers from interference from physical and natural barriers, which has forced the revision of the trace. This fact motivated the execution of this work, the method compares the alternatives presented in the light of changes in earthmoving services, specifically in the volume of earth movement, in order to enable a decision about this new condition imposed on rail Project.

**Keywords:** Transnordestina railway; Serro Azul dam; physical and natural barriers.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1 - Movimentação de carga transporta pelas ferrovias brasileiras, em milhões de TU.....</b>	<b>4</b>
<b>Figura 2 - Investimentos nas malhas existentes concedidas a iniciativa privada, em milhões .....</b>	<b>5</b>
<b>Figura 3 - Mapa ferrovia Transnordestina .....</b>	<b>7</b>
<b>Figura 4 - Subdivisão para a construção da Ferrovia da Nova Transnordestina .....</b>	<b>8</b>
<b>Figura 5 - Municípios atravessados pela a Ferrovia no trecho SPS .....</b>	<b>9</b>
<b>Figura 6 - Em roxo, traçado desenvolvido para a implantação da nova ferrovia, em rosa, traçado pertencente à antiga malha RFFSA .....</b>	<b>10</b>
<b>Figura 7 – Trechos da antiga Linha Tronco Centro que não foram aproveitados .....</b>	<b>11</b>
<b>Figura 8 - (a) Entroncamento central da Ferrovia Nova Transnordestina; (b) Ruínas da velha estação ferroviária Felipe Camarão .....</b>	<b>12</b>
<b>Figura 9 - Construção do túnel ferroviário em Arcoverde-PE.....</b>	<b>12</b>
<b>Figura 10 - Trecho entre os municípios de Arcoverde e Pesqueira .....</b>	<b>13</b>
<b>Figura 11 - Sub-regiões do nordeste brasileiro .....</b>	<b>14</b>
<b>Figura 12- Túnel ferroviário, cruzamento com a CE-293.....</b>	<b>17</b>
<b>Figura 13 - Cruzamento com a TRSF.....</b>	<b>18</b>
<b>Figura 14 - Início das obras da Barragem Serro Azul .....</b>	<b>19</b>
<b>Figura 15 - Serviço de escavação em solo. ....</b>	<b>21</b>
<b>Figura 16 - Moto Scraper motorizado .....</b>	<b>23</b>
<b>Figura 17 - Material de 2<sup>a</sup> categoria .....</b>	<b>23</b>
<b>Figura 18 - Material de 3<sup>a</sup> categoria .....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 19 – Corpo de aterro em rocha .....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 20 - Seção transversal (corte) .....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 21 - Seção transversal (Aterro) .....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 22 - Quadro movimentação de terra.....</b>	<b>26</b>
<b>Figura 23 - Traçado SPS 08 .....</b>	<b>29</b>
<b>Figura 24 - Iteração com a antiga malha RFFSA, em rosa cenário I, em vermelho, cenário II e em verde, linha férrea Tronco-Centro .....</b>	<b>34</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1 - Extensão .....</b>	<b>34</b>
<b>Tabela 2 - Descrição Cortes - Cenário I.....</b>	<b>35</b>
<b>Tabela 3 - Descrição Cortes - Cenário II.....</b>	<b>36</b>
<b>Tabela 4 - Volume cortes – Cenário I .....</b>	<b>39</b>
<b>Tabela 5 - Volume Cortes – Cenário II.....</b>	<b>39</b>
<b>Tabela 6 - Descrição Aterros – Cenário I .....</b>	<b>41</b>
<b>Tabela 7 - Descrição Aterros – Cenário II.....</b>	<b>42</b>
<b>Tabela 8 - Volume Aterros – Cenário I .....</b>	<b>45</b>
<b>Tabela 9 - Volume Aterro – Cenário II .....</b>	<b>45</b>
<b>Tabela 10 - Material Corte – Cenário I .....</b>	<b>47</b>
<b>Tabela 11 - Material Corte – Cenário II.....</b>	<b>48</b>
<b>Tabela 12 - Material Aterro – Cenário I .....</b>	<b>50</b>
<b>Tabela 13 - Material Aterro – Cenário II.....</b>	<b>51</b>

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1 - Linha de Tendência Cortes - Cenário I</b> .....	37
<b>Gráfico 2 - Linha de Tendência Cortes - Cenário II</b> .....	37
<b>Gráfico 3 - Altura cortes</b> .....	38
<b>Gráfico 4 - Volume de escavação (m<sup>3</sup>)</b> .....	40
<b>Gráfico 5 - Extensão Aterros – Cenário I</b> .....	43
<b>Gráfico 6 - Extensão Aterros – Cenário II</b> .....	43
<b>Gráfico 7 – Altura Aterro</b> .....	44
<b>Gráfico 8 - Volume Compactado</b> .....	46
<b>Gráfico 9 - Comparativo materiais escavados</b> .....	49
<b>Gráfico 10 - Comparativo Material compactado (Aterrado)</b> .....	52

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1	Justificativa e Motivação .....	2
1.2	Objetivos .....	3
1.3	Organização da Monografia.....	3
<b>2</b>	<b>FERROVIA TRANSNORDESTINA .....</b>	<b>4</b>
2.1	Setor Ferroviário.....	4
2.2	Projeto Ferrovia Nova Transnordestina .....	6
2.2.1	Trecho Salgueiro – Porto de SUAPE (SPS).....	8
<b>3</b>	<b>ALTERAÇÃO DO TRAÇADO.....</b>	<b>17</b>
3.1	Barreiras Físico-Naturais .....	17
3.1.1	Projeto Barragem Serro Azul .....	19
3.2	Tomada de decisão.....	20
3.2.1	Etapas do Processo Decisório.....	20
3.3	Projeto Terraplenagem.....	21
3.3.3	Quadro de Movimentação de Terra .....	26
<b>4</b>	<b>MÉTODO.....</b>	<b>28</b>
4.1.	Etapa I - Condições de traçado .....	28
4.1.1.	Extensão do traçado .....	29
4.2.	Etapa II - Corte e Aterro .....	29
4.2.1.	Quantidade de cortes.....	29
4.2.2.	Quantidades de Aterro. ....	30
4.3.	Etapa III – Comparativo .....	31
<b>5</b>	<b>AVALIAÇÃO DOS CENÁRIOS .....</b>	<b>33</b>
5.1	Condições de Traçado.....	33
5.3	Corte e Aterros.....	34
5.3.1	Quantidade de cortes.....	34
5.3.2	Quantidade de Aterros .....	39
5.4	Comparativo .....	45
5.4.1	Material escavado .....	45
5.4.2	Material Compactado (Aterrado).....	48
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>52</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>53</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Após o arrendamento, por 30 anos, para iniciativa privada da malha ferroviária brasileira, processo iniciado em 1996 e finalizado no ano seguinte pelo o Governo Federal, foram necessários 16 anos de operação para que o transporte ferroviário tivesse, novamente, papel fundamental na logística brasileira (ANTF, 2013b).

Ao longo dos últimos anos, registrou-se um crescimento gradativo na movimentação de cargas por este setor, mostrando ser o meio de transporte terrestre mais eficiente e viável para movimentação de grandes volumes de carga, com baixo valor agregado a grandes distâncias, condições estas ideais para um país como o Brasil, com dimensões continentais (ANTF, 2013b).

Dentre as empresas que estão operando a malha ferroviária nacional, destaca-se a Transnordestina Logística S.A, antiga Companhia Ferroviária do Nordeste (CFN), que obteve a concessão para explorar a malha férrea na região nordeste até o ano 2027, abrangendo os estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco e Alagoas.

Ao assumir o contrato, a companhia recebeu um sistema de transportes (via permanente e todo o material rodante) deteriorado, em péssimas condições de conservação, o que tornava inviável o transporte de carga para determinadas regiões e conseqüentemente perda de competitividade de mercado (TLSA, 2012).

Em 2008, em parceria com o Governo Federal e com o apoio dos governos do Piauí, Ceará e Pernambuco, foram iniciadas as obras para a implantação da Ferrovia Nova Transnordestina. Esta ferrovia possui projeto moderno, adequado às características atuais do transporte ferroviário, com raios de curvatura suave, mínimo de 400 metros, e capacidade de carga de 32,5 toneladas por eixo, com um total de 1.728 km de via principal.

Tal projeto tem por objetivo integrar a nova fronteira agrícola da região do cerrado brasileiro e a exploração de jazidas de minério de ferro, presentes na região sul do Piauí, aos portos de SUAPE - PE e PECÉM - CE. Além disso, este projeto pode trazer contribuições sociais, provenientes do desenvolvimento econômico, tendo em vista que o traçado passará por diversas áreas do sertão nordestino.

Contudo, algumas características físico-naturais têm demandado estudos mais elaborados a fim de definir o traçado mais adequado para a ferrovia, o que impõem a necessidade de alteração do projeto original. Dentre estas questões, destaca-se o trecho entre a cidade de Salgueiro - PE e o Porto de Suape, no mesmo Estado, mais precisamente no distrito de Serro Azul, ao qual a construção de uma barragem, obra realizada pelo Governo do Estado de Pernambuco, resultou em uma restrição ao traçado originalmente proposto. Nota-se, neste caso, a falta de interação entre o projeto da nova ferrovia com o projeto da barragem, que inundará, na sua cota de cheia máxima, 8,5 km da futura linha férrea.

Porém, sabe-se que os dois empreendimentos são fundamentais para o desenvolvimento da região da Mata Sul de Pernambuco. Assim, foi acordado entre a Secretaria de Desenvolvimento Econômico do Estado de Pernambuco (SDEC-PE) e o Governo Federal, o desenvolvimento de uma variante no traçado da ferrovia Transnordestina, mantendo na íntegra e sem qualquer alteração todos os projetos da barragem, uma vez que a ferrovia proporciona maior flexibilidade em relação a possíveis alterações em seu projeto original.

### **1.1 Justificativa e Motivação**

Nos últimos anos, o Governo Federal vem estimulando o crescimento da economia brasileira, através do investimento em obras de infraestrutura, com a implantação de grandes projetos. Para algumas regiões houve a necessidade da construção de duas ou mais obras de grande porte, que estimulassem ou proporcionassem uma considerável melhora no desenvolvimento regional.

Todavia, em determinadas situações existe “choque” entre os projetos para implantação da infraestrutura férrea e projetos destinados a outros fins, um indicativo de planejamento inadequado de ações. No caso da Nova Transnordestina, o principal conflito está ocorrendo entre o projeto da ferrovia e o projeto da barragem, o que tem levado à necessidade de um esforço adicional para conciliar projetos. Este caso, em particular, exigirá dos projetistas solução adequada para a viabilização harmoniosa entre os dois projetos.

Este cenário surge como motivação para a realização do presente trabalho de conclusão de curso, pois possibilitará empregar conceitos observados ao longo do processo de formação profissional, em especial aqueles correlatos à avaliação de projetos de transportes.

## 1.2 Objetivos

### Objetivo Geral

Avaliar a influência da construção da barragem Serro Azul na implantação da Ferrovia Nova Transnordestina no interior de Pernambuco.

### Objetivos Específicos

- Determinar a alteração nas condições de terraplenagem, avaliando as quantidades e a qualidade dos volumes de movimentação de terra entre os dois cenários em estudo.
- Definir a alternativa mais eficiente a fim de se estabelecer um planejamento eficaz para execução dos serviços de terraplenagem.

## 1.3 Organização da Monografia

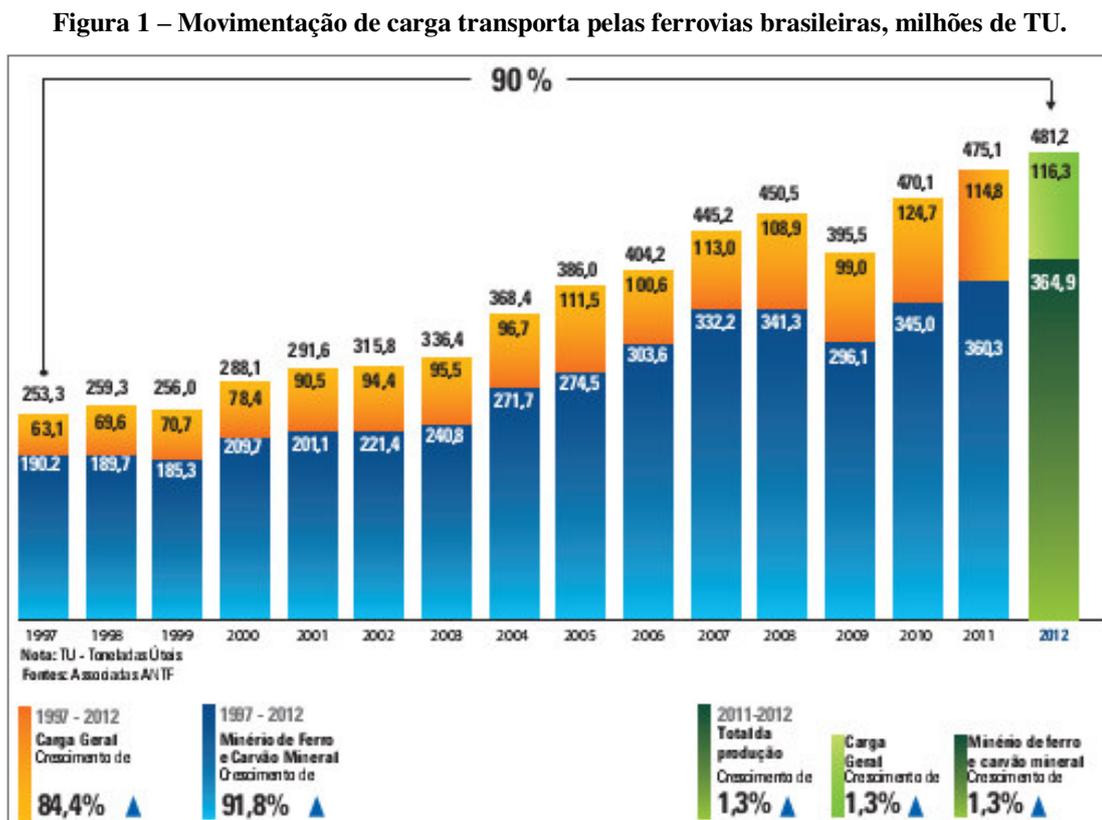
A monografia será dividida em seis capítulos, organizados da seguinte forma:

- Capítulo 1 – Introdução: contendo a contextualização do tema, a justificativa, os objetivos e o escopo da monografia;
- Capítulo 2 e 3 – Revisão Bibliográfica: descrevendo os assuntos relacionados ao tema da monografia;
- Capítulo 4 – Metodologia: relata os procedimentos aplicados nessa pesquisa para alcançar os objetivos, expõe as características referente à problemática em estudo;
- Capítulo 5 – Avaliação dos Cenários: apresenta os resultados obtidos e as interpretações feitas a partir deles;
- Capítulo 6 – Conclusões: relata as principais conclusões dessa pesquisa relacionadas à avaliação dos principais impactos da construção da barragem Serro Azul na implantação da ferrovia no estado de Pernambuco.

## 2 FERROVIA TRANSNORDESTINA

### 2.1 Setor Ferroviário

Segundo dados da Agência Nacional de Transportes Ferroviários, ANTF (2013a), a movimentação de cargas no país pelo modo ferroviário cresceu 90% desde a sua privatização. Em 2012, este setor foi responsável pelo transporte de mais de 480 milhões de toneladas útil, conforme se observa na Figura 1.

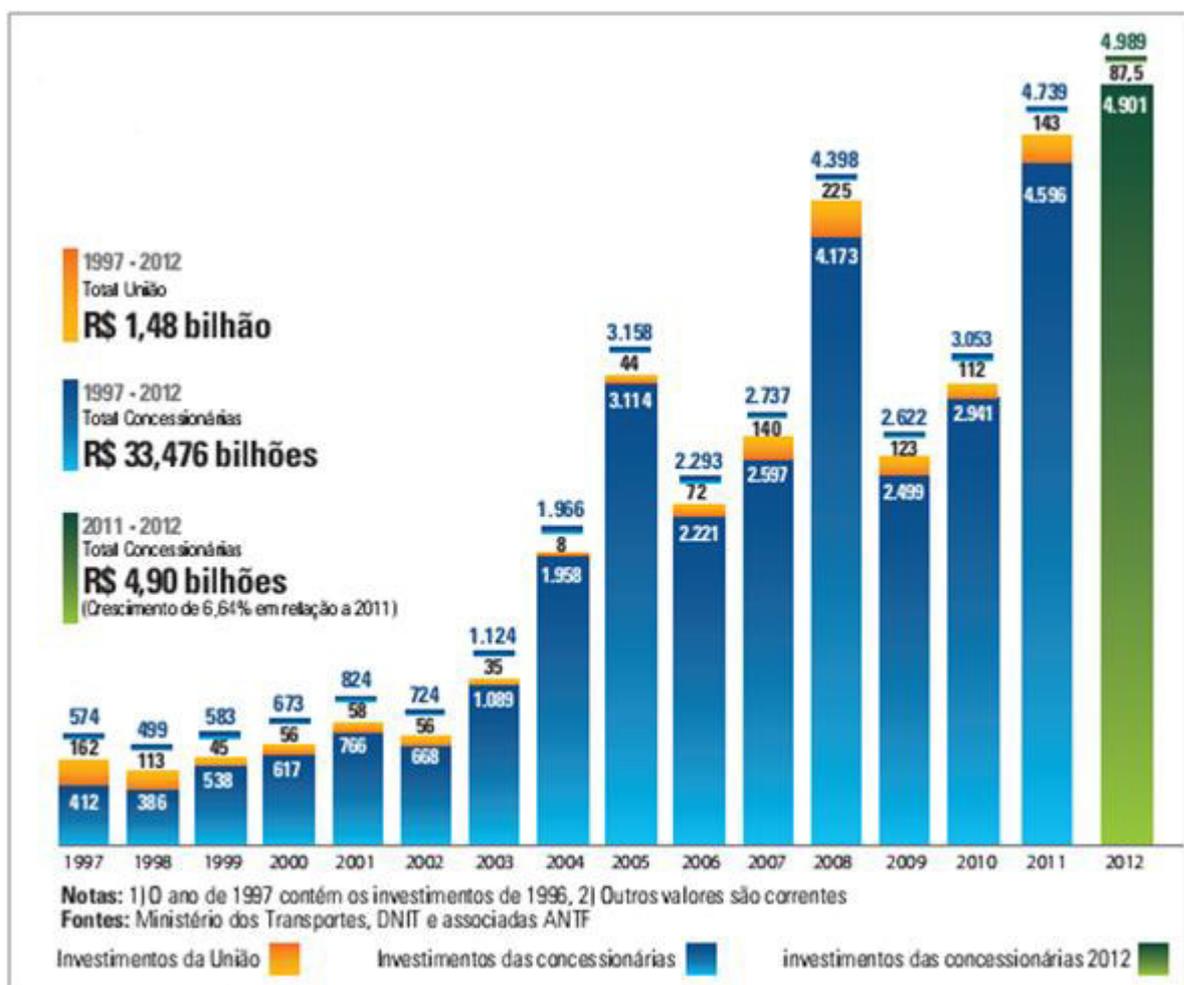


(Fonte: ANTF, 2013).

Esse crescimento deve-se basicamente ao aumento de competitividade em relação ao modal rodoviário. Ainda segundo informação da própria ANTF, um único trem composto por 100 vagões graneleiros, com capacidade para 100 toneladas cada, substitui 357 caminhões graneleiros de 28 toneladas, uma melhora significativa no tráfego de veículos pesados nas rodovias, o que pode contribuir para a conservação da malha rodoviária nacional, para a redução da quantidade de acidentes e benefício ao meio ambiente. Para a ANTF (2013a), estima-se que os trens de carga emitem 70% menos dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e 66% menos monóxido de carbono (CO) – gases responsáveis pelo aumento do efeito estufa – do que os caminhões a diesel.

Só em 2012, conforme dados da ANTF (2013a), foram investidos R\$ 4,9 bilhões no setor ferroviário com aplicação desses recursos na aquisição de novas tecnologias, capacitação de pessoal, compra e reforma de material rodante e recuperação de via existente, conforme apresentado na Figura 2.

**Figura 2– Investimentos nas malhas existentes concedidas a iniciativa privada.**



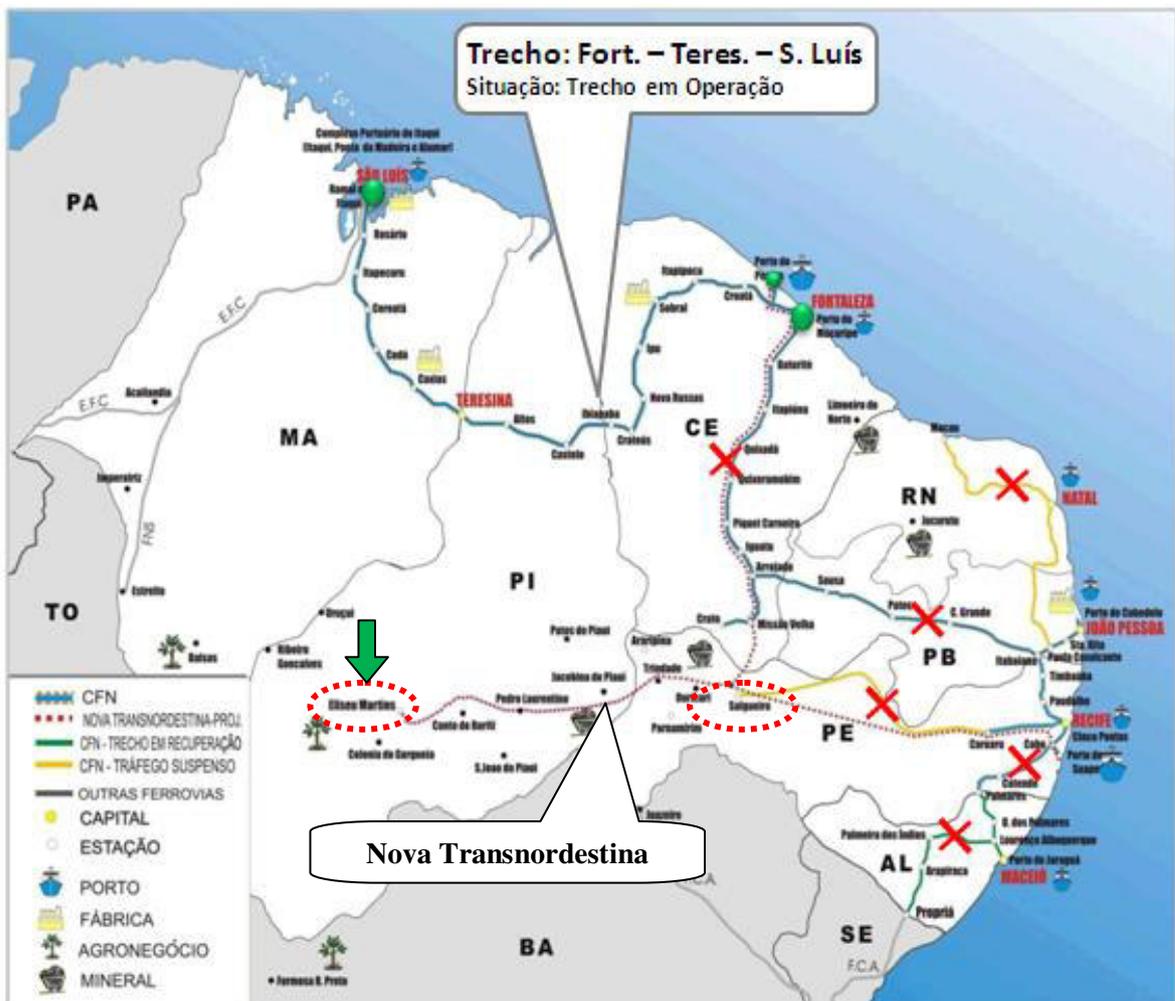
(Fonte: ANTF, 2013)

Apesar da queda nas exportações em 2012, a movimentação de carga no setor ferroviário cresceu 1,3 % em relação a 2011, segundo ANTF (2013a), apresenta cenário favorável inclusive em momentos de turbulência no mercado internacional, como os vivenciados desde a crise norte-americana em 2008.

## 2.2 Projeto Ferrovia Nova Transnordestina

A malha administrada pela companhia Transnordestina Logística S/A é apresentada na Figura 3. Conforme TLSA (2012), tal malha possui extensão total de aproximadamente 4.057 km distribuídos ao longo de sete estados nordestinos (Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, Ceará, Piauí e Maranhão). Da extensão total, apenas 1.150 km encontra-se em operação atualmente, referentes ao trecho de Fortaleza (CE) /Teresina (PI) / São Luís (MA). A principal explicação deve-se ao fato de haver falta ou a quase inexistência de carga para o transporte ferroviário nos demais trechos administrados pela empresa. Assim, o restante da malha está com tráfego suspenso ou paralisado, indicados na figura 3 com um "x" em vermelho, devido à inviabilidade operacional.

Figura 3 – Mapa ferroviária Transnordestina.

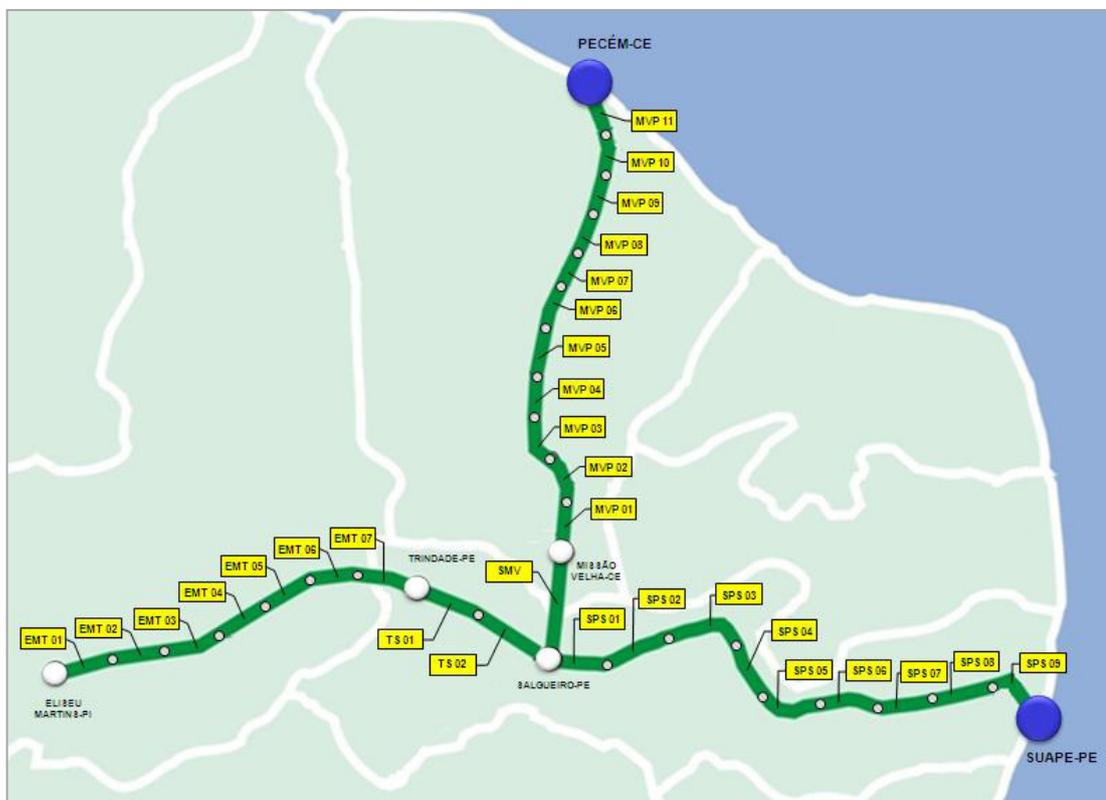


(Fonte: TLSA, 2012)

Embora a malha atual esteja apresentando tal situação, um novo trecho foi projetado e está em fase de execução, possibilitando ligação entre a região sul do Piauí, especificamente do município de Eliseu Martins, com os Estados de Pernambuco e Ceará. Tal projeto prevê uma bifurcação estratégica no município de Salgueiro (PE), ponto central da nova malha, possibilitando o escoamento da produção ao norte pelo porto de Pecém (CE) e ao Leste pelo porto de Suape (PE), além da interação com a atual malha existente, possibilitando uma integração intermodal e eliminando os principais gargalos hoje existentes na região. Na Figura 3 é possível visualizar esta proposta. Espera-se que com isto a malha ferroviária ganhe novo estímulo, fazendo com que os demais trechos voltem a ser utilizados.

Segundo TLSA (2012), para a implantação da nova ferrovia dividiu-se a futura malha em 5 trechos, que por sua vez foram subdivididos em 32 lotes, de forma a não permitir lotes com grandes extensões, mantendo comprimento médio de 50 km, conforme estratégia logística definida pelos projetistas. Tal detalhamento é apresentado na Figura 4.

**Figura 4 – Subdivisão para a construção da Ferrovia da Nova Transnordestina.**



A seguir podemos verificar uma breve descrição de cada trecho que será implantado com a construção da nova ferrovia.

- I. Eliseu Martins (PI) / Trindade (PE) – EMT: Trecho com 420 km de extensão subdivididos em sete lotes (EMT 01 ao 07).
- II. Trindade (PE) / Salgueiro (PE) – TS: Trecho com 164 km de extensão subdivididos em dois lotes (TS 01 ao 02).
- III. Salgueiro (PE) / Missão Velha (CE) – SMV: Trecho com 95 km de extensão subdivididos em três lotes (SMV 01 ao 03); Obs.: Trecho já concluído.
- IV. Missão Velha (CE) / Porto do Pecém (CE) – MVP: Trecho com 527 km de extensão subdivididos em onze lotes (MVP 01 ao 11).
- V. Salgueiro (PE) / Porto de Suape (PE) – SPS: Trecho com 522 km de extensão subdivididos em nove lotes (SPS 01 ao 09).

Dentre os trechos em execução, a seção entre Salgueiro e SUAPE, segunda maior em extensão, é considerada a mais crítica, pois ainda possui questões a serem resolvidas, em especial as que envolvem o impacto de barreiras físico-naturais no traçado da ferrovia, o que incide diretamente na obtenção de licenças para continuidade das obras.

### **2.2.1 Trecho Salgueiro – Porto de SUAPE (SPS)**

É um trecho em bitola larga, com aproximadamente 522 km de extensão, dividido em nove subtrechos, percorrendo praticamente todo o interior do estado de Pernambuco, interceptando 30 municípios até a chegada em Suape, conforme ilustrado na Figura 5.

**Figura 5 – Municípios atravessados pela a Ferrovia no trecho Salgueiro – Porto de Suape.**



(Fonte: Google Earth, 2013)

### 2.2.1.1 Traçado

Segundo ENEFER (2008a), o traçado original da Linha “Tronco Centro”, pertencente à malha da antiga RFFSA foi o referencial de partida para a escolha do percurso atual, linha esta que partia da capital Recife até o município de Salgueiro, desenvolvendo todo o seu trajeto em bitola métrica, com uma extensão de aproximadamente 608 km, de acordo com a Figura 6 abaixo.

**Figura 6 – Em roxo, traçado desenvolvido para a implantação da nova ferrovia, em rosa, traçado pertencente à antiga malha RFFSA.**



(Fonte: Google Earth, 2013)

Ainda conforme ENEFER (2008b), a diretriz original contribuiu bastante para o desenvolvimento do interior do Estado de Pernambuco, principalmente com o transporte de passageiros, como as cidades de Salgueiro, Serra Talhada, Afogados da Ingazeira, Arcoverde, Pesqueira, São Caitano, Caruaru e Gravatá, além das cidades integrantes da Região Metropolitana de Recife.

Porém este trecho apresentava curvas horizontais com raio mínimo de 100 metros e aclives com rampas de até 2,5%, dificultando em parte o aproveitamento da sua diretriz original, que visa um traçado moderno, com as características técnicas estabelecidas pela Ferrovia Nova Transnordestina, ou seja, curvas horizontais de raio mínimo de 400 metros e rampas, sentido exportação, máxima de 1,5%.

O traçado implantado no passado, por diversas razões, em especial critérios políticos e estratégicos, fugia em sua grande maioria do objetivo preconizado hoje, ou seja, com a definição de novos parâmetros técnicos de desempenho e eficiência energética de uma ferrovia de carga, principalmente quando se leva em conta os atuais tipos predominantes de *commodities* potenciais, suas origens e seus destinos.

Atualmente, esta linha encontra-se com o tráfego erradicado, devido alguns de seus trechos estarem totalmente impossibilitados ao tráfego de trens, decorrente, inclusive, da remoção parcial da superestrutura da via permanente por vândalos.

Assim, definiu-se que alguns percursos da linha da antiga RFFSA não poderiam ser mais aproveitados na construção da nova malha, conforme apresentado na Figura 7. Tal decisão levou a obrigatoriedade do desenvolvimento de uma melhor alternativa de traçado para a implantação da nova ferrovia.

**Figura 7 – Trechos da antiga Linha Tronco - Centro que não foram aproveitados**



(Fonte: Google Earth, 2013)

A seguir, apresentam-se as causas que levaram o não aproveitamento de parte do traçado da antiga malha existente.

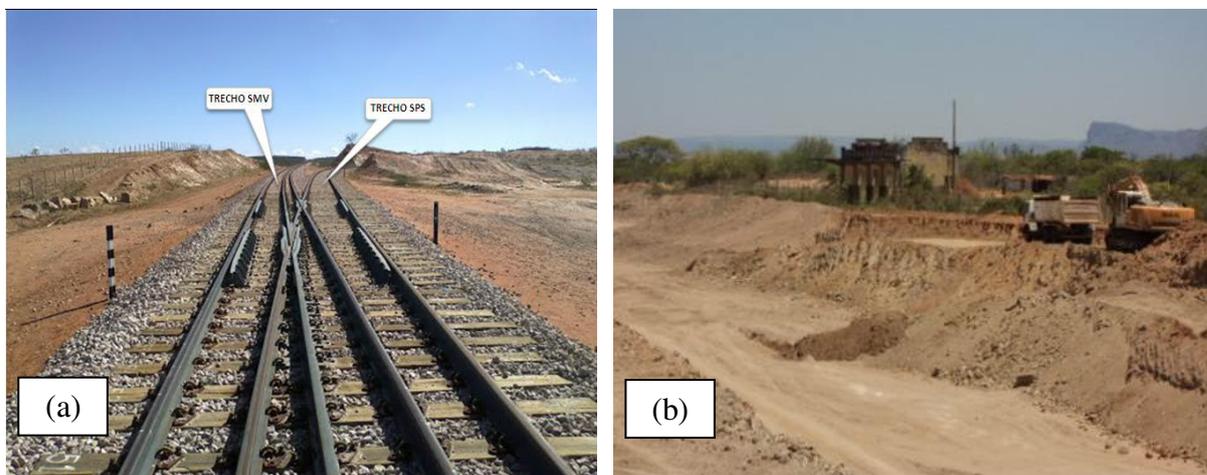
Trecho A – Salgueiro/Mirandiba: Devido ao grande adensamento urbano da cidade de Salgueiro, tornou-se impróprio para sua escolha como ponto de entroncamento com as demais linhas a serem construídas, ou seja, a interligação com o trecho SMV ao norte e o trecho TS a oeste, havendo necessidade de um desvio próximo à localidade de Mirandiba.

Trecho B – Serra Talhada/Arcoverde: Devido às dificuldades naturais a serem vencidas, principalmente pela localização geográfica das Serras de Jabitacá e Serra da Mata Grande, definiu-se um melhor caminho com o encurtamento do traçado, o que possibilitou a redução de 60 km entre as cidades de Serra Talhada e Arcoverde.

Trecho C – Pesqueira/Recife: Devido as grandes dificuldades nas obras de reforma a serem realizadas em um trecho de 80 km, que ligaria a cidade de Gravatá a capital Recife, bem como os altos custos de implantação, face às imensas interferências urbanas daquela região, principalmente nas proximidades de Recife e as complicadas condições naturais, com consideráveis diferenças de níveis a serem vencidas em trechos sinuosos, relevo fortemente montanhoso, obrigou a busca por uma nova alternativa de traçado.

Face ao exposto, definiu-se como marco zero o ponto de entroncamento entre os trechos SMV/TS/SPS ( $E=484.742,840$  m,  $N=9.119.009,640$  m, ZONA: 24 M), com o trecho SPS se iniciando na estaca 10.049+0,00 em uma curva à direita, Figura 8.a, cruzando a BR-116, com a ferrovia seguindo na direção leste sentido litoral, percorrendo quase sempre em paralelo a BR-232, visando a interação com a antiga via férrea, próximo à velha estação ferroviária de Felipe Camarão, Figura 8.b, aproveitando boa parte da faixa de domínio já existente, seguindo assim por 27 km até as proximidades da cidade de Serra Talhada-PE, de onde se afasta da velha linha e retorna a seguir novamente paralelo a BR-232.

**Figura 8 – (a) À esquerda, entroncamento central da Ferrovia Nova Transnordestina; (b) À direita, ruínas da velha estação ferroviária Felipe Camarão.**



(Fonte: TLSA, 2012)

Seguindo sempre pelo lado direito da BR-232, a ferrovia cruza 90 km à frente, com o Projeto de Transposição das Águas do Rio São Francisco - Eixo Leste, nas proximidades da localidade de Salgadoinho-PE, percorrendo ainda mais 70 km até a cidade de Arcoverde-PE, onde está em construção um túnel ferroviário de 1 km de extensão, apresentado na Figura 9, a fim de minimizar os efeitos do ruído provocado pela a passagem do trem de carga.

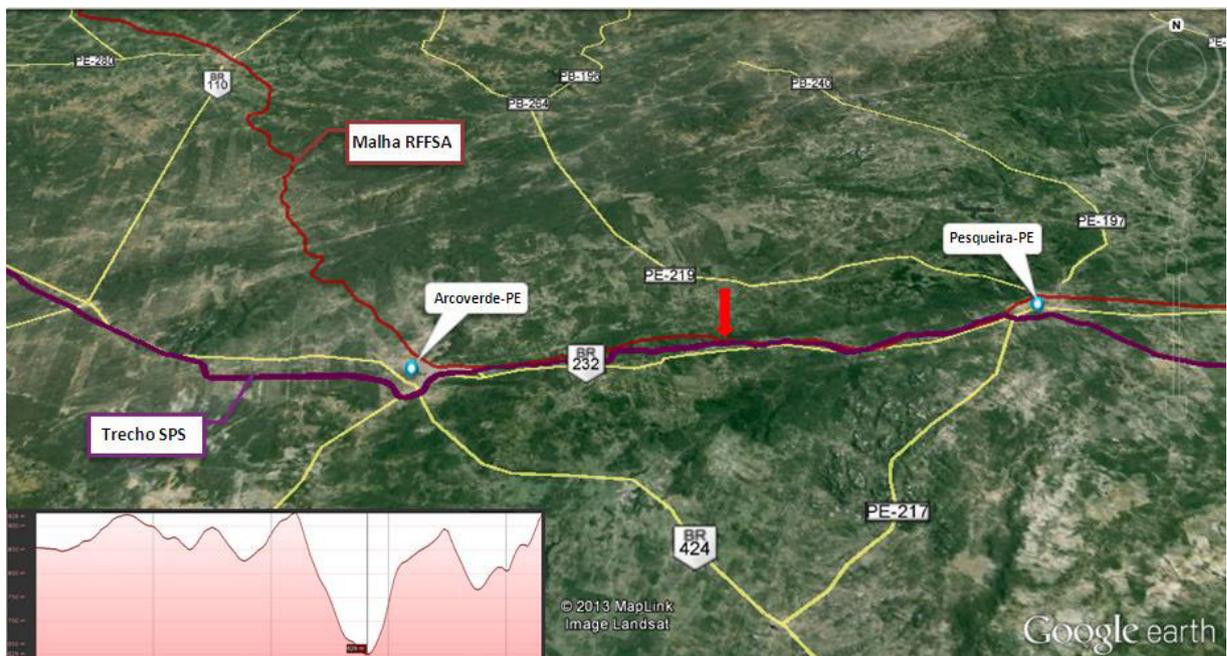
**Figura 9 – Construção do túnel ferroviário em Arcoverde-PE**



( Fonte: TLSA, 2012)

No trajeto de 40 km até o município de Pesqueira-PE, Figura 10, o traçado das duas ferrovias e da BR-232 ficam paralelos, adotando praticamente o mesmo percurso, devido à existência de várias montanhas próximas, existindo uma única passagem entre a Serra do Gavião e o povoado de Cimbres-PE.

**Figura 10 – Trecho entre os municípios de Arcoverde e Pesqueira.**



(Fonte: Google Earth, 2013)

Adiante, o traçado segue a sudeste, afastando-se da BR-232 e de grandes aglomerados urbanos, como as cidades de Caruaru-PE e Gravatá-PE, procurando sempre regiões com relevo menos montanhoso, cruzando com a PE-180, BR-423, PE-149, BR-104, PE-103 e a BR-101, chegando até a cidade de Gameleira-PE, onde se encontra com uma nova malha férrea, agora com a Linha Tronco Sul Recife, pertencente à antiga RFFSA, porém também administrada pela empresa Transnordestina Logística S.A, que é a concessionária que utiliza este trecho, seguindo paralela a linha férrea, juntamente com a BR-101 os próximos 70 km até a cidade de Cabo Santo Agostinho, onde existirá um novo entroncamento, agora com o acesso ao ramal de acesso a SUAPE.

### 2.2.1.2 Clima

Segundo ENEFER (2008a), o traçado da ferrovia, compreende a descida do Planalto da Borborema, onde o clima caracteriza-se como tropical quente do semiárido, cujas médias anuais de precipitação são da ordem de 650 mm, atingindo depois o clima pseudoúmido da Zona da Mata, com as chuvas ocorrendo no período outono-inverno.

Na zona do Agreste, Figura 11, as condições climáticas são marcadas por características diversificadas, tratando-se de uma região de ecótone, ou seja, apresentando áreas variáveis de mais úmidas a mais secas, com a ocorrência de locais de microclimas de altitude, com a temperatura mínima atingindo até 8°C, dando a conotação nestas áreas de brejos de altitude.

**Figura 11 – Sub-regiões do nordeste brasileiro.**



(Fonte: Wikipédia, 2012)

Na área de transição entre o Agreste e o Semiárido quente, conforme ENEFER (2008a), a média anual da precipitação é variável de 650 a 1000 mm. Na maior parte do Sertão, centro e oeste do estado, o clima é predominantemente semiárido - quente e muito seco, devido ao baixo índice pluviométrico. Em algumas regiões, a precipitação anual é inferior a 300 mm, ocasionando secas mais intensas que podem durar mais de um ano. As exceções são as áreas próximas às margens do rio São Francisco.

### **2.2.1.3 Vegetação**

Segundo ENEFER (2008a), a região do Sertão pernambucano possui uma vegetação característica, composta basicamente por caatinga hiperxerófila (plantas de porte baixo) com trechos de floresta caducifólia, ou seja, composta por árvores de folha caduca (daí o nome caducifólio), se estendendo até a região do Agreste, com a vegetação subcaducifólica, ou seja, com árvores sempre verdes, folhas largas, troncos relativamente delgados, densas e implantadas em solo recoberto por camada de húmus.

A maior diferença da vegetação do agreste em relação à do sertão diz respeito principalmente à fisionomia, sendo as caatingas do agreste mais densa e atingindo um maior porte.

Já a vegetação da Zona da Mata e Região Metropolitana é predominantemente do tipo floresta subperenifólia, ao qual se caracteriza por apresentar árvores com caules retilíneos e espessos, comumente encontrada em setores mais elevados das serras cristalinas e nas vertentes superiores dos planaltos sedimentares, tendo as chuvas orográficas e o orvalho oriundo do nevoeiro, os principais condicionantes da ocorrência deste tipo de vegetação.

### **2.2.1.4 Recursos Geotécnicos**

Conforme dados apresentados no ENEFER (2008a), as características litológicas do trecho são diversificadas como consequência da complexa formação geológica da região. Para tanto, foram efetuadas sondagens diretas nos cinco lotes iniciais e sondagens diretas e indiretas ao longo dos quatro lotes restantes, com espaçamento entre furos variando de 100 a 500 m. Ao longo do traçado do empreendimento ocorreu tectonismo de vários graus de intensidade dando origem a diversos dobramentos e falhas.

### **2.2.1.5 Exploração**

Para ANDRADE (2003) os principais recursos minerais significativos a serem explorados economicamente em Pernambuco são: caulim, calcário, feldspato e ferro. Os maiores depósitos de caulim situam-se no Município do Cabo de Santo Agostinho. Tais depósitos estão inseridos nos sedimentos do Grupo Barreiras, ocorrências desse recurso mineral podem ser encontradas nos municípios de Caruaru e Panelas, na região Agreste do Estado.

Existem basicamente dois tipos de calcários extraídos no estado: os sedimentares e os metamórficos. Os depósitos calcários sedimentares localizam-se na faixa costeira, particularmente nos municípios de Goiana e Paulista, ao norte do Estado. Já os calcários metamórficos estão inseridos em terrenos pré-cambrianos e as principais ocorrências dessa modalidade estão nos municípios de Sertânia, Mirandiba, Floresta, Flores, Gravatá e Itambé, usados basicamente para a produção de cal e como corretivo de solos, diminuindo a acidez destes.

Os depósitos de feldspatos são verificados nos municípios de Caruaru e Altinho, e geralmente são usados para a fabricação de vidros, peças cerâmicas e tintas. Quanto ao ferro, a principal jazida localiza-se em São José de Belmonte, próximo ao entroncamento em Salgueiro-PE.

### **3 ALTERAÇÃO DO TRAÇADO**

Para a escolha de um novo percurso, existem várias alternativas que podem ser analisadas a fim de se obter o melhor cenário, tendo em vista que o objetivo central da escolha é minimizar impacto causado pela interferência até então não prevista no projeto.

Dentre os diversos impactos gerados, podemos citar a perda na eficiência operacional, ou seja, um maior consumo de combustível e desgaste elevado de material rodante; a necessidade de um aumento nas quantidades de Obra de Arte Corrente (OAC's), ou seja, no número de bueiros e número de Obra de Arte Especial (OAE's), no caso, pontes e viadutos a serem executadas ao longo do novo percurso elevando o custo de implantação; nova distribuição nas quantidades de volumes de terra a serem escavados e transportados, bem como a existência e localização de jazidas e locais de bota fora.

Desta forma, neste capítulo serão abordados aspectos referentes à tomada de decisão, de forma a contribuir para o processo de escolha entre a melhor alternativa a ser adotada em um cenário, destacando como se dará a organização e a distribuição dos volumes de movimentação de terra, em um projeto de terraplenagem, ao longo de um determinado traçado.

#### **3.1 Barreiras Físico-Naturais**

Diversas interferências podem surgir ao longo da implantação de obras que requerem grandes extensões, por exemplo, ferrovias, rodovias, dutovias. Tais obras, apesar de todo planejamento que antecede sua execução, estão sujeitas a encontrar obstáculos ou barreiras que dificultem ou inviabilizem sua implantação.

A rigor, todo o projeto de engenharia deverá indicar as interferências ao qual o empreendimento estará sujeito, bem como a solução a ser adotada para transpor estas barreiras. Por exemplo, na Figura 12 é apresentada uma interferência rodoferroviária, cujo cruzamento entre a rodovia CE-293, próximo ao município de Abaiara-CE, e a ferrovia exigiu a construção de um túnel ferroviário, devido à elevada diferença de nível do local de cruzamento. Neste caso, a rodovia foi considerada uma barreira física ao traçado originalmente proposto para a ferrovia, o que demandou a intervenção por meio de um túnel.

**Figura 12 – Túnel ferroviário, cruzamento com a CE-293.**



(Fonte: TLSA, 2012)

Outro exemplo de barreira física é apresentado na Figura 13, na qual pode-se visualizar o canal de transposição das águas do rio São Francisco. Este importante projeto social trouxe impacto direto ao traçado projetado da ferrovia Nova Transnordestina, exigindo uma reformulação do plano de ação, caracterizado pela implantação de uma ponte ferroviária sobre o canal.

**Figura 13 – Cruzamento com a TRSF.**



(Fonte: TLSA, 2012)

Podem existir diversos tipos de barreiras físicas, mais especificamente aplicada à área ferroviária, desde transpor terrenos montanhosos ou áreas com grande concentração de material argiloso até o cruzamento com cemitérios, aldeias indígenas, zonas de preservação ambiental, complicações de projeto que exigem uma solução de engenharia viável. Contudo, muitas vezes, a solução viável exigirá um rigoroso estudo por parte dos projetistas, o que pode acarretar em mudanças de cronogramas e, em casos extremos, a alteração da área de cobertura originalmente proposta, neste caso podendo impactar em prejuízos sociais e econômicos para as populações do entorno. Diversas barreiras foram observadas ao longo da construção da ferrovia, sendo a Barragem Serro Azul, a mais emblemática.

### **3.1.1 Projeto Barragem Serro Azul**

Segundo TCU (2012), a barragem Serro Azul faz parte de um sistema de cinco barragens projetadas com a finalidade principal de controle de cheias na região da Mata Sul do Estado de Pernambuco. Nos anos de 2000, 2005, 2010 e 2011 as chuvas provocaram danos à região e, além de acarretarem perdas humanas, trouxeram prejuízos materiais à população.

Obras para a sua construção foram iniciadas em janeiro de 2013. A barragem Serro Azul terá além do objetivo principal do controle de enchentes, a função de armazenar água para o consumo, com capacidade de 300 milhões de m<sup>3</sup>, beneficiando cerca de 160 mil pessoas. A área onde será construída a barragem é apresentada na Figura 14.

**Figura 14 - Início das obras da Barragem Serro Azul**



(Fonte: Jornal Grande Litoral, 2013)

Ainda de acordo com TCU (2012), a barragem que está próxima à localidade de Serro Azul, situada a 18 km da cidade de Palmares e a 147 km da cidade de Recife, controlará as enchentes geradas na região do alto rio Una e disponibilizará uma vazão regularizada de 850 l/s para usos múltiplos.

Porém, são várias as reclamações quanto à construção do novo reservatório, principalmente quanto aos valores pagos nas desapropriações e o impacto ambiental causado na região devido ao lago que será formado com a área inundada, conforme ITEP, OS (2011), de aproximadamente 907 hectares.

Ainda como indicado no ITEP, OS (2011), a análise de alternativas para a escolha da solução técnica e economicamente mais viável para a construção da barragem levou em consideração os seguintes fatores: custo, capacidade de acumulação, velocidade de construção e população beneficiada. Com base nesses dados, a alternativa que se mostrou mais indicada, satisfazendo, portanto, os critérios citados foi a construção de uma barragem em Concreto Compactado a Rolo – CCR, a qual aproveita ao máximo as condições do terreno local e atende às necessidades primordiais de controle de cheias.

### **3.2 Tomada de decisão**

Em qualquer projeto, a tomada de decisão requer uma análise sistêmica de todas as variáveis que tornam o projeto exequível, ou seja, a “simples” escolha entre a opção I e a opção II, poderá trazer o sucesso esta for escolhida a alternativa mais correta ou o fracasso se for escolhida uma alternativa errada.

Segundo Pereira & Fonseca (1997), o uso da racionalidade é um processo fundamental na tomada de decisões importantes, podendo ser definida como a capacidade de se usar a razão para conhecer, julgar e elaborar pensamentos e explicações, e é ela que habilita a escolha entre alternativas, a julgar os riscos decorrentes das suas consequências e efetuar uma escolha consciente da melhor alternativa a ser empregada.

#### **3.2.1 Etapas do Processo Decisório**

Para Uris (1989), existem 6 etapas definidas como ideias para o processo de tomada de decisão:

1. *Análise e identificação da situação:* A situação do local onde o problema está inserido deve ser claramente identificada através do levantamento de informações, para que desta forma se possa chegar a uma decisão segura e precisa.
2. *Desenvolvimento de alternativas:* Em função do levantamento de dados, ou seja, da coleta de informações, pode se chegar a possíveis alternativas para a resolução do problema proposto.
3. *Comparação entre as alternativas:* Levantamento das vantagens e desvantagens de cada alternativa.
4. *Classificação dos riscos de cada alternativa:* A tomada de decisão sempre envolve um grau de risco, seja em um valor praticamente nulo ou um grau significativo de risco. Teremos sempre que levar em consideração o grau de risco que temos em cada alternativa, para que possamos escolher a alternativa que apresente, comprovadamente, o menor grau de risco.
5. *Escolher a melhor alternativa:* Tendo o conhecimento das vantagens, desvantagens e riscos o decisor é capaz de identificar a alternativa que melhor soluciona seu problema.
6. *Execução e avaliação:* A alternativa escolhida fornecerá resultados que deverão ser comparados e avaliados com as previsões anteriores.

No caso dos projetos de ferrovias, dois fatores são preponderantes na tomada de decisão: (i) garantir um traçado suave, com rampas pequenas; (ii) ter pequeno esforço em terraplenagem, objetivando reduzir custos de movimentação de terra. Muitas vezes, a garantia do segundo, implica na observância do primeiro. Sendo assim, o presente estudo estará pautado em observar os esforços referentes a movimentação de terra.

### **3.3 Projeto Terraplenagem**

De forma simples, a terraplenagem ou o movimento de terra pode ser interpretada como o conjunto de operações necessárias para deslocar certa quantidade de material, solo ou rocha, de um local a outro, alterando a conformação do terreno natural, a fim de se atender determinadas premissas do projeto que será implantado, conforme ilustrado na Figura 15. Assim, parte fundamental do processo decisório deve levar em consideração os volumes de terra movimentados.

**Figura 15 – Serviço de escavação em solo.**



(Fonte: TLISA,2012)

Antes do início dos serviços de escavação propriamente dito, serão necessários alguns estudos prévios descrito nas próximas seções.

### **3.3.1. Determinação do tipo de material a ser escavado.**

Segundo ABRAM (2000), para fins de terraplenagem, a crosta terrestre é constituída por rochas e solos, apresentando a seguinte definição:

- Rochas: Materiais constituintes essenciais da crosta terrestre provenientes da solidificação do magma ou de lavas vulcânicas ou da consolidação de depósitos sedimentares, tendo ou não sofrido transformações metamórficas.
- Solos: Materiais constituintes especiais da crosta terrestre provenientes da decomposição, *in situ*, das rochas pelos diversos agentes geológicos, ou pela sedimentação não consolidada dos grãos elementares constituintes das rochas, com adição eventual de partículas fibrosas de material carbonoso e matéria orgânica coloidal.

Para o DNIT (2009), o material a ser empregado em serviços de movimentação de terra pode ser dividido em 3 categorias distintas:

*Material de 1ª categoria:* Compreende os solos em geral, residuais ou sedimentares, seixos rolados ou não, com diâmetro máximo inferior a 0,15 m, qualquer que seja o teor de umidade

apresentado. O processo de extração é compatível com a utilização de “Dozer” ou “Scraper” rebocado ou motorizado, Figura 16.

**Figura 16 - Moto Scraper motorizado**



(Fonte: Caterpillar, 2010)

*Material de 2ª categoria:* Compreende os solos de resistência ao desmonte mecânico inferior à da rocha não alterada, Figura 17, cuja extração se procede por combinação de métodos que obriguem a utilização do maior equipamento de escarificação exigido contratualmente; a extração eventualmente pode envolver o uso de explosivos ou processo manual adequado. Estão incluídos nesta categoria os blocos de rocha de volume inferior a 2 m<sup>3</sup> e os matacões ou pedras de diâmetro médio compreendido entre 0,15 e 1,00 m.

**Figura 17 – Material de 2ª categoria**



(Fonte: TLSA,2012)

*Material de 3ª categoria:* Compreende os materiais com resistência ao desmonte mecânico equivalente à rocha não alterada e blocos de rocha com diâmetro médio superior a 1,00 m, ou de volume igual ou superior a 2 m<sup>3</sup>, Figura 18, cuja extração e redução, a fim de possibilitar o carregamento, se processem com o emprego contínuo de explosivos.

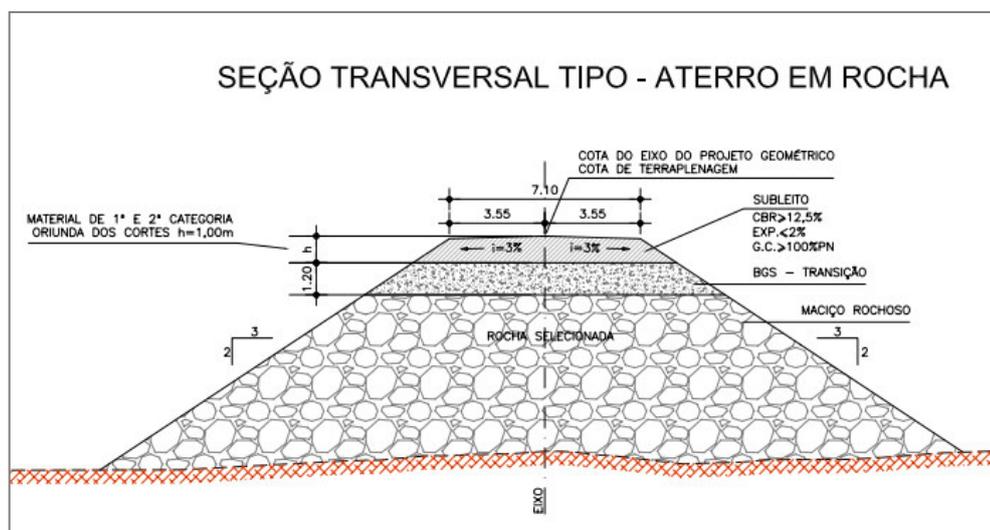
**Figura 18 – Material de 3ª categoria.**



(Fonte: TLSA,2012)

Segundo o DNER (1996), geralmente estabelece-se que as camadas finais de terraplenagem, ou seja, as camadas localizadas na parte superior sejam executadas com material de 1ª categoria e os materiais de 2ª e 3ª categorias sejam empregados apenas no corpo do aterro, conforme ilustrado na Figura 19.

**Figura 19 – Corpo de aterro em rocha.**

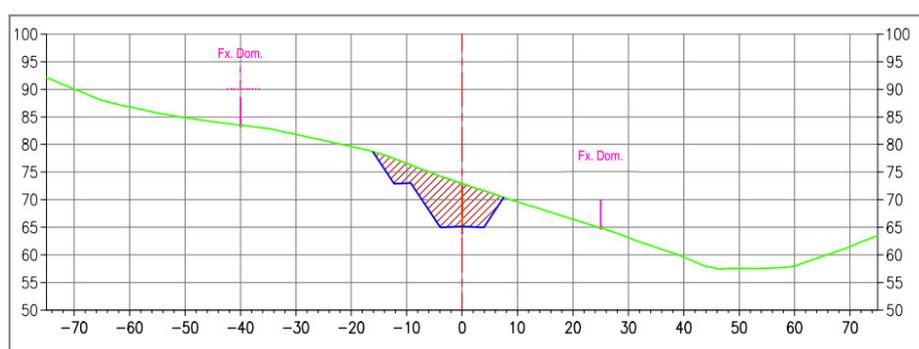


(Fonte: TLSA,2013)

### 3.3.2. Determinação dos volumes necessários para atender as premissas de projeto

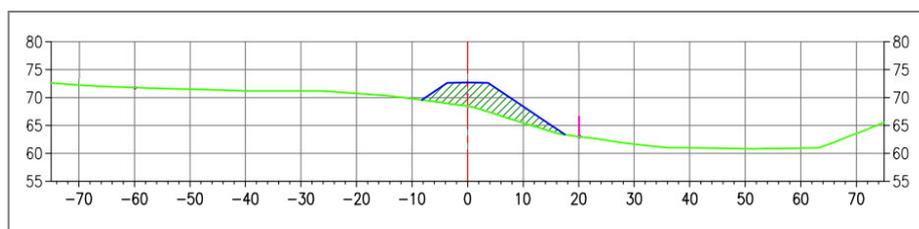
Para o cálculo dos volumes que serão escavados ou que necessitem ser aterrados, primeiramente se fará necessário à obtenção das seções transversais, que são polígonos geométricos formados pelas inclinações dos taludes (laterais), superfície de *greide* (inferior) e contorno do terreno natural (superior). Obtendo-se assim uma seção transversal (polígono) para cada estaca de projeto, conforme Figuras 20 e 21, que ilustram situações de corte e aterro, respectivamente.

**Figura 20 – Seção transversal (corte).**



(Fonte: TLISA,2012)

**Figura 21 - Seção transversal (aterro).**



(Fonte: TLISA,2012)

Considerando duas seções transversais consecutivas, segundo PIMENTA (2004), o volume do segmento é calculado multiplicando-se a média das áreas pela distância entre as seções, no caso 20 m, valor equivalente a uma estaca.

Quanto à distância a ser admitida entre a origem e o destino do material escavado, PIMENTA (2004) propõe que seja feita a verificação da distância máxima de transporte (DMT), definida como a distância crítica para qual o custo de compensação longitudinal é igual ao custo do descarte desse material (bota fora), mais o custo de aquisição de material nas

proximidades (empréstimo), ou seja, torna-se vantajoso utilizar volumes de locais de empréstimos (jazidas), do que aproveitar do material que foi escavado. Esta decisão é facilitada com a observação do quadro de movimentação de terra.

### 3.3.3. Quadro de Movimentação de Terra

O quadro de movimentação de terra ou diagrama de massa é um resumo, de forma ordenada, da origem e do destino do material que será escavado, transportado e compactado ao longo de todo o projeto. Sua interpretação é simples, de forma que o encarregado possa compreender e executar corretamente as premissas de projeto.

A não obediência às orientações do quadro poderá ocasionar um desequilíbrio de material a ser transportado, ou seja, poderá haver excesso de material em determinados locais e falta significativa em outros, ocasionando atrasos no cronograma da obra ou aumento nos custos de execução.

Na Figura 22 é apresentado um modelo simplificado do quadro de movimentação de terra, que nos mostra basicamente três informações importantes: a origem do material (Azul - coluna 01 a 11), normalmente proveniente de corte ou áreas de empréstimo, o destino desse material (Laranja - coluna 12 a 14), geralmente, aterros ou áreas bota fora, e a distância a ser percorrida para o transporte desse material (Amarelo - coluna 15).

Figura 22 – Quadro movimentação de terra.

QUADRO DE MOVIMENTAÇÃO DE TERRA														
ORIGEM (ESCAVAÇÃO E CARGA)											DESTINO (COMPACTAÇÃO)		TRANSPORTE	
ESTACA			ESCAVAÇÃO (m³)				VALORES AUXILIARES (m³)				ESTACA			COMPACTAÇÃO (m³)
(c) - Corte	INICIAL	FINAL	VOLUME GEOMÉTRICO ( $V_{gij}$ )				VOLUME EQUIVALENTE ( $V_{ei} = V_{gij} \cdot f_i$ )				INICIAL	FINAL	ATERRO	CALCULADA
			Total	1ª Cat.	2ª Cat.	3ª Cat.	Total	1ª Cat.	2ª Cat.	3ª Cat.				
COLUNA 1	COLUNA 2	COLUNA 3	COLUNA 4	COLUNA 5	COLUNA 6	COLUNA 7	COLUNA 8	COLUNA 9	COLUNA 10	COLUNA 11	COLUNA 12	COLUNA 13	COLUNA 14	COLUNA 15
											A01		26.582,37	
C01	10266	10275	344,60	344,60	-	-	275,68	275,68	-	-	10151	10266	275,68	1.240
C04	10488	10552	31.667,06	17.679,65	13.987,41	-	26.306,69	14.143,72	12.162,97	-	10151	10266	26.306,69	6.230
											A02		43.292,06	
C02	10349	10382	11.743,20	11.743,20	-	-	9.394,56	9.394,56	-	-	10275	10349	9.394,56	1.070
C04	10488	10552	40.804,62	22.781,13	18.023,49	-	33.897,50	18.224,90	15.672,60	-	10275	10349	33.897,50	4.160
											A03		21.773,16	
C03	10423	10469	21.841,00	20.450,40	1.390,60	-	17.589,54	16.360,32	1.209,22	-	10382	10423	17.569,54	870
C04	10488	10552	5.060,17	2.825,08	2.235,09	-	4.203,62	2.260,07	1.943,55	-	10382	10423	4.203,62	2.350
											A04		38.722,80	
C04	10488	10552	46.613,14	26.024,01	20.569,13	-	38.722,80	20.819,21	17.903,59	-	10469	10488	38.722,80	830
											A05		5.542,40	
C05	10560	10599	6.711,41	4.220,64	2.490,77	-	5.542,40	3.376,51	2.165,99	-	10552	10560	5.542,40	470
			164.785,21	106.068,71	58.716,49	-	135.912,79	84.854,97	51.057,82	-			135.912,79	17.220
Fatores de conversão de volumes ( $f_i$ ):			$f_{1^{\text{a}} \text{ CAT}} = 1,25$   $f_{2^{\text{a}} \text{ CAT}} = 1,15$   $f_{3^{\text{a}} \text{ CAT}} = 0,90$											

(Fonte: TSLA,2012)

Na coluna 01 tem-se a descrição do local de onde o material será escavado, no caso, do corte 01 ao 05. Na Coluna 02 e 03, é indicado o estaqueamento inicial e final, respectivamente, do local a ser escavado. Observa-se que o trecho é iniciado em um aterro, pois apresenta estaca inferior ao primeiro corte. Nas colunas 05, 06 e 07 são informados os volumes geométricos para as matérias de 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> categorias, calculados a partir das seções transversais. Observa-se que para o quadro apresentado não haverá escavação em rocha, ou seja, inexistência de material de 3<sup>a</sup> categoria. Na coluna 04, é apresentado o somatório do volume a ser escavado para o respectivo corte ou empréstimo. Na coluna 09, 10 e 11 são informados os volumes equivalentes ou homogeneizados, ou seja, o volume que será de fato utilizado no local de destino, devido ao efeito da compactação do material há uma diminuição percentual útil de volume, para os materiais de 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> categoria, atribuindo-lhes um volume menor de 25% (1,25) e 15%, (1,15) respectivamente.

Para material de 3<sup>a</sup> categoria há um aumento do volume utilizado, devido à existência de vazios entre os blocos de rocha, atribuindo-lhe um ganho de 10% (0,90).

Na coluna 08, é apresentado o somatório do volume equivalente. Nas colunas 12 e 13, são indicadas as estacas iniciais e finais do destino do material, no caso, um aterro, em geral são iniciados ao final de um corte e finalizados no início do corte seguinte. Na coluna 14 são apresentados os volumes de compactação, que são os mesmos apresentados na coluna 08. Na coluna 15, são informados finalmente os valores de transporte, ou seja, a distância que deverá ser percorrida entre a origem e o destino do material, tomando-se sempre como referência os centros geométricos de cada ponto (corte ou aterro).

Deve-se ressaltar que as distâncias de transportes deverão ser sempre, preferencialmente, inferiores as DMT's, evitando o uso de áreas de empréstimo ou de bota foras.

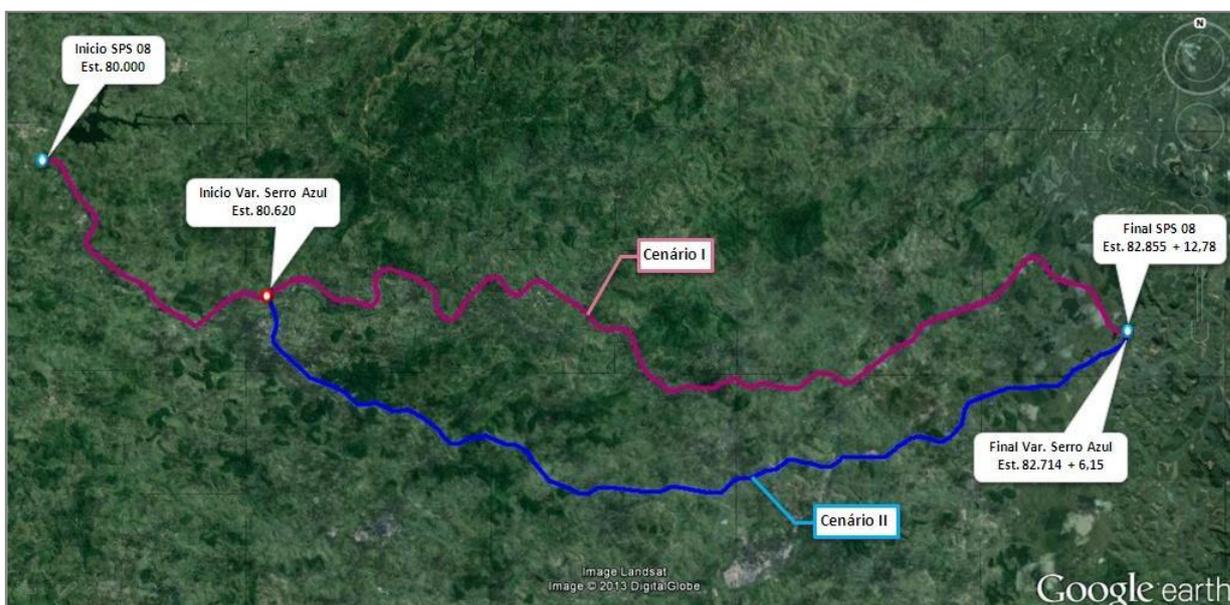
Face ao exposto, é proposta uma metodologia para analisar as alternativas de traçado, devido à implantação da barragem Serro Azul, que terá por base a avaliação em termos de volume de material, conforme descrito no próximo capítulo.

## 4 MÉTODO

O método de análise proposto consiste em caracterizar duas alternativas e, de forma comparativa, definir alterações ou impactos nos serviços de movimentação de terra, ou seja, comparando os volumes de material a serem escavados, gerados tanto na proposta de traçado originalmente estabelecida (Cenário I), antes da concepção da barragem, quanto à nova proposta (Cenário II) devido à implantação do reservatório.

A Figura 23 apresenta a localização e a extensão das duas situações a serem analisadas. O Cenário I corresponde ao trecho originalmente proposto e Cenário II apresenta o traçado definido para contornar o lago formado pela construção da barragem.

**Figura 23 – Traçado SPS 08**



(Fonte: Google Earth, 2011)

Para tal, o método proposto, baseado em análise comparativa, está estruturado em três etapas: (i) traçado; (ii) movimentação de terra; (iii) comparação.

### 4.1. Etapa I - Condições de traçado

Esta etapa metodológica tem por objetivo estimar de forma inicial as condições que os dois cenários estão submetidos. Desta forma, espera-se obter uma visão macro do projeto, bem como uma verificação de elementos que poderão indicar previamente os traçados

estudados. Assim, os principais pontos a serem considerados ao avaliar as condições de traçado serão a seguir definidos.

#### 4.1.1. Extensão do traçado

O comprimento total indicará, de forma preliminar, a tendência relativa aos volumes gerados, uma vez que quanto maior a extensão em um determinado traçado, maior será a quantidade de cortes e aterros a serem executados, devido à topografia do terreno, conseqüentemente haverá um aumento na quantidade de material a ser escavado e transportado.

### **4.2. Etapa II - Corte e Aterro**

Trechos em corte apresentam metodologia construtiva diferentemente de trechos em aterro, por exemplo, traçados com grande número de aterros a serem executados necessitarão de mais água e equipamentos compactadores do que se o mesmo trecho fosse construído com a existência de corte, tendo a extensão e a altura como dois fatores que influenciam diretamente na movimentação de material. Desta forma, torna-se fundamental a análise da quantidade e extensão dos trechos em corte e aterro, para que possa ser feita uma análise criteriosa dos cenários.

#### 4.2.1. Quantidade de cortes

- i. Extensão, em metros.

Cortes mais extensos demandam maiores quantidades de volume de material a serem escavados, identificando pelo estaqueamento o comprimento de cada corte, tanto no Cenário I como no Cenário II.

- ii. Altura, em metros.

A altura é um fator significativo no volume de material que será retirado de um trecho em corte, à medida que o ganho de altura também haverá a necessidade da implantação de dispositivos que garantam a estabilidade dos taludes laterais, as chamadas “bermas” que tem a função de suavizar as inclinações dos taludes, evitando o desmoronamento de material devido à ação da gravidade, da água ou do vento.

Consequentemente, quanto mais alto for o corte, mais “aberto” ele deverá ser executado e maior a quantidade de material a ser escavado. Para tal, as alturas dos cortes serão divididas nas seguintes categorias:

- ✓ Cortes Baixos – Altura menor 5 m.
- ✓ Cortes médios – Altura entre 5 e 15 m
- ✓ Cortes Altos – Altura maior que 15 m.

iii. Identificação dos Volumes (m<sup>3</sup>)

De posse das seções transversais será possível determinar os volumes que serão escavados em cada corte existente ao longo de toda a extensão do traçado, tanto para o Cenário I, como para o Cenário II.

4.2.2. Quantidades de Aterro.

i. Extensão, em metros.

Assim como nos cortes, aterros mais extensos também demandarão obviamente maiores quantidades de volume de material a serem compactados, também tendo seu comprimento identificado pelo estaqueamento, tanto no Cenário I como no Cenário II.

ii. Altura, em metros.

Assim como na análise feita nos cortes, adotaremos três tipos de aterro:

- ✓ Aterros Altos – Altura maior que 15 m.
- ✓ Aterros médios – Altura entre 5 e 15 m
- ✓ Aterros Baixos – Altura menor 5 m.

iii. Identificação dos Volumes, em m<sup>3</sup>.

Da mesma forma como nos cortes, de posse das seções transversais, agora referente aos trechos em aterro, determinaremos os volumes que serão compactados ao longo de toda a extensão do traçado, para os dois Cenários.

### 4.3. Etapa III – Comparativo

De posse das informações das etapas I e II, será possível fazer uma análise comparativa entre os dois cenários no que tange à qualidade do material, ou seja, um comparativo simples entre as quantidades do material de 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> categoria do Cenário I com as quantidades de material do Cenário II.

Será adotado como parâmetro de referência os valores do Cenário I, devido este ser o percurso originalmente proposto, orientando a um aumento ou diminuição dos volumes de matérias gerados com o novo percurso, podendo ocasionar uma nova configuração para a execução dos serviços de terraplenagem.

#### a. Material Escavado

##### i. 1<sup>a</sup> Categoria

Através das sondagens feitas no subleito ao longo do traçado dos dois cenários, determinar-se-ão as quantidades de material classificado como de primeira categoria a serem removidos de cada trecho em corte.

##### ii. 2<sup>a</sup> Categoria

Assim como no item anterior, serão definidas as quantidades de material classificado como de segunda categoria a serem removidos de cada trecho em corte.

##### iii. 3<sup>a</sup> Categoria

Assim como no item i e ii, obter-se-ão as quantidades de material classificado como de terceira categoria a serem removidos de cada trecho em corte.

#### b. Material Compactado (Aterrado).

##### i. 1<sup>a</sup> Categoria

Com os volumes de materiais já determinados e classificados anteriormente, será possível identificar as quantidades necessárias de material de primeira categoria a serem utilizadas nas camadas finais de terraplenagem, por se tratar de um solo mais nobre.

ii. 2ª Categoria

Assim como no item anterior, serão identificadas as quantidades necessárias de material de segunda categoria a serem utilizadas não mais nas camadas finais de terraplenagem, mas sim ao longo do corpo do aterro.

iii. 3ª Categoria

Finalmente, buscar-se-á identificar as quantidades necessárias de material de terceira categoria a serem utilizadas em alguns casos como complemento do corpo de aterro (aterros altos) ou que será descartado a um bota-fora, por se tratar de um material rochoso.

## 5 AVALIAÇÃO DOS CENÁRIOS

O presente capítulo busca construir uma discussão a respeito dos cenários que serão avaliados devido à implantação da Barragem Serro-Azul. Para tal, a sequência de etapas metodológicas, definidas no capítulo anterior, será a seguir aplicado.

### 5.1 Condições de Traçado

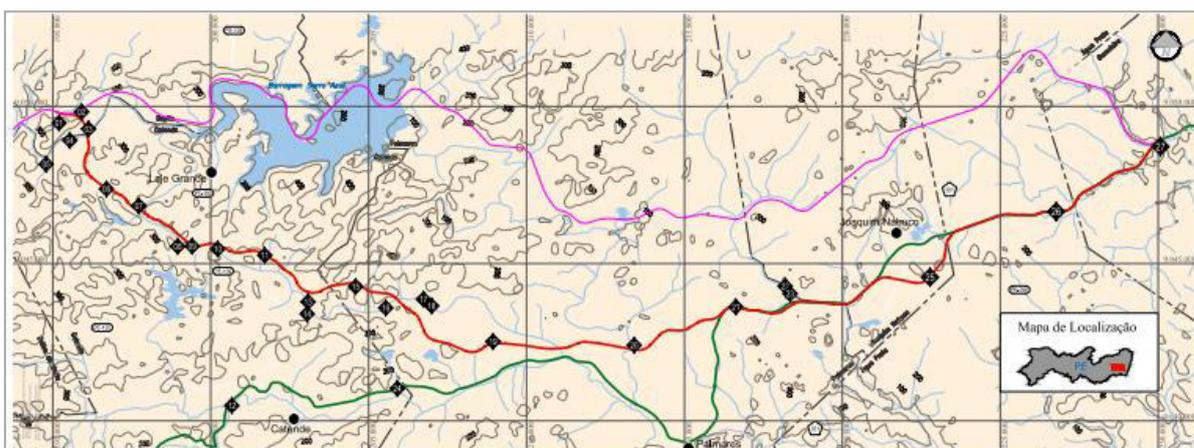
Analisando a Tabela 1, pode-se verificar que o Cenário II, alternativa que contorna a barragem, apresenta uma redução de aproximadamente 2,82 km em relação ao Cenário I, indicando possível diminuição nos volumes de terraplenagem.

**Tabela 1 - Extensão**

Comprimento						
	Estaca Inicial		Estaca Final			Extensão (Km)
Cenário I	80.620	+ 0,00	82.855	+ 12,78		<b>44,71</b>
Cenário II	80.620	+ 0,00	82.714	+ 6,15		<b>41,89</b>
	Diferença					<b>-2,82</b>

Outro fator importante, além da diminuição na extensão a ser percorrida, é que o Cenário II utiliza parte da antiga linha férrea Tronco-Centro, pertencente à malha RFFSA, hoje já extinta, o que pode acarretar ganhos na sua consolidação. Na figura 24, esta situação é apresentada.

**Figura 24 – Iteração com a antiga malha RFFSA, em rosa cenário I, em vermelho, cenário II e em verde, linha férrea Tronco-Centro.**



(Fonte: TLSA, 2012)

### 5.3 Corte e Aterros

#### 5.3.1 Quantidade de cortes

Para o Cenário I, de acordo com o projeto estabelecido, haverá 84 trechos em cortes, Tabela 2, contra 65 existentes para o Cenário II, Tabela 3, uma redução de 22,62 % de trechos em cortes a serem escavados.

**Tabela 2 – Descrição Cortes - Cenário I**

Cortes - Cenário I									
Corte	Est. Inicial	Est. Final	Ext. (m)	Alt.(m)	Corte	Est. Inicial	Est. Final	Ext. (m)	Alt.(m)
C1	80636	80642	120	10,50	C43	81615	81620	100	9,40
C2	80645	80667	440	16,10	C44	81634	81637	60	2,10
C3	80672	80691	380	20,00	C45	81657	81675	360	26,00
C4	80693	80703	200	11,60	C46	81700	81745	900	31,00
C5	80721	80725	80	4,70	C47	81788	81814	520	18,20
C6	80730	80740	200	12,30	C48	81822	81831	180	15,10
C7	80748	80750	40	1,20	C49	81863	81866	60	2,10
C8	80768	80775	140	12,0	C50	81871	81890	380	16,00
C9	80785	80812	540	25,4	C51	81895	81909	280	11,90
C10	80819	80822	60	1,1	C52	81914	81928	280	17,80
C11	80834	80838	80	1,3	C53	81939	81963	480	21,00
C12	80840	80866	520	13,3	C54	82016	82032	320	16,50
C13	80874	80915	820	21,4	C55	82040	82056	320	7,90
C14	80924	80937	260	13,5	C56	82072	82084	240	18,00
C15	80952	80965	260	26,1	C57	82097	82133	720	13,20
C16	80972	80974	40	3,8	C58	82121	82122	20	0,60
C17	80983	80991	160	20,0	C59	82138	82149	220	7,80
C18	80993	80994	20	2,1	C60	82159	82181	440	28,00
C19	81028	81032	80	1,8	C61	82208	82231	460	26,00
C20	81044	81057	260	37,4	C62	82235	82240	100	0,60
C21	81071	81074	60	6,5	C63	82246	82249	60	1,50
C22	81078	81081	60	6,4	C64	82254	82268	280	11,70
C23	81086	81110	480	27,6	C65	82278	82283	100	3,20
C24	81122	81134	240	21,6	C66	82311	82340	580	16,20
C25	81143	81158	300	30,4	C67	82376	82389	260	8,40
C26	81183	81184	20	1,6	C68	82416	82452	720	13,20
C27	81188	81190	40	1,2	C69	82456	82465	180	5,10
C28	81192	81199	140	2,0	C70	82469	82479	200	11,00
C29	81208	81226	360	3,7	C71	82484	82510	520	12,20
C30	81243	81257	280	30,4	C72	82517	82548	620	15,10
C31	81289	81291	40	0,90	C73	82549	82552	60	3,10
C32	81302	81315	260	28,30	C74	82570	82574	80	3,10
C33	81318	81320	40	1,10	C75	82588	82600	240	20,20
C34	81334	81348	280	24,80	C76	82608	82618	200	11,30
C35	81351	81363	240	24,60	C77	82655	82657	40	0,80
C36	81384	81398	280	24,90	C78	82667	82674	140	2,00
C37	81421	81435	280	14,50	C79	82709	82712	60	0,20
C38	81445	81501	1120	28,00	C80	82720	82744	480	24,90
C39	81527	81545	360	16,50	C81	82750	82774	480	23,10
C40	81552	81570	360	12,50	C82	82780	82792	240	11,30
C41	81580	81592	240	6,20	C83	82794	82803	180	13,10
C42	81603	81605	40	0,60	C84	82843	82854	220	1,10

**Tabela 3 – Descrição Cortes - Cenário II**

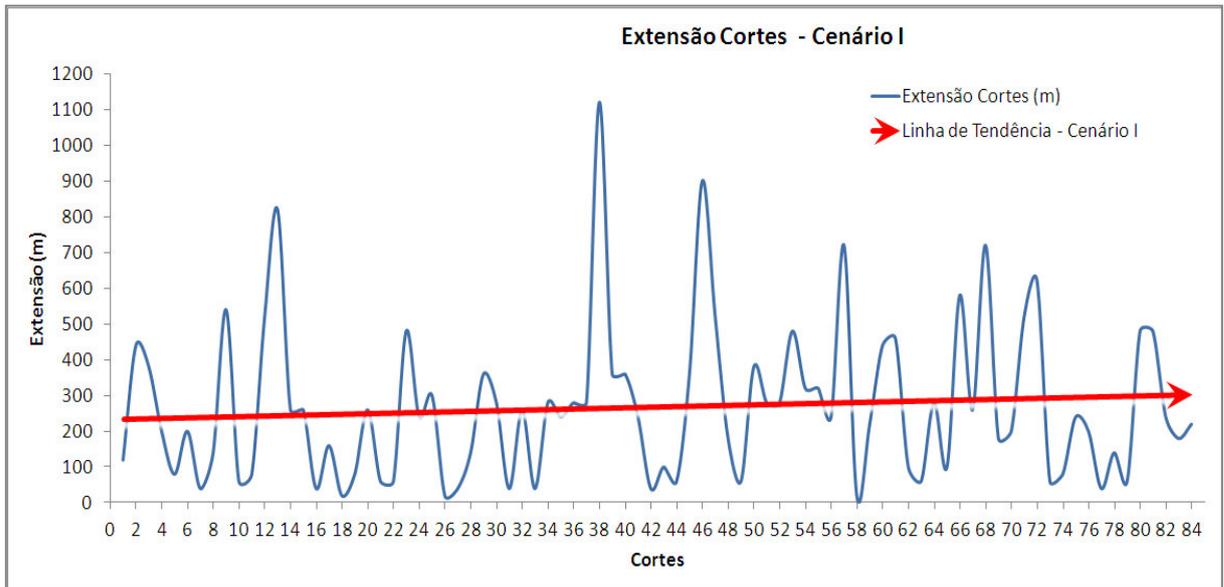
Cortes - Cenário II									
Corte	Est. Inicial	Est. Final	Ext. (m)	Alt.(m)	Corte	Est. Inicial	Est. Final	Ext. (m)	Alt.(m)
C1	80624	80630	120	4	C34	81516	81533	340	10,5
C2	80633	80680	940	36,5	C35	81546	81577	620	11,1
C3	80705	80711	120	5,9	C36	81569	81570	20	0,6
C4	80713	80737	480	25,1	C37	81572	81574	40	0,8
C5	80739	80758	380	17,3	C38	81580	81603	460	9,9
C6	80772	80803	620	15,8	C39	81617	81631	280	4,9
C7	80807	80829	440	10	C40	81639	81648	180	8,9
C8	80838	80869	620	12,1	C41	81660	81679	380	7,800
C9	80884	80888	80	6,5	C42	81690	81711	420	5,000
C10	80891	80906	300	7,9	C43	81740	81752	240	5,1
C11	80917	80921	80	2,8	C44	81760	81769	180	9,2
C12	80934	80937	60	0,6	C45	81776	81819	860	21,2
C13	80946	80957	220	6,1	C46	81825	81827	40	0,6
C14	80959	80988	580	26,5	C47	81840	81870	600	9,5
C15	80990	81015	500	25,3	C48	81885	81896	220	10,100
C16	81024	81031	140	22,1	C49	81935	81941	120	0,600
C17	81042	81053	220	33	C50	81948	81952	80	0,500
C18	81065	81073	160	12,9	C51	81971	81973	40	0,500
C19	81081	81088	140	10,3	C52	81977	81983	120	8,000
C20	81103	81112	180	20,3	C53	81990	82016	520	27,500
C21	81117	81133	320	23,9	C54	82186	82193	140	14,3
C22	81147	81164	340	29,8	C55	82222	82227	100	1,8
C23	81173	81191	360	31,8	C56	82244	82299	1100	17,100
C24	81193	81225	640	29,1	C57	82307	82330	460	25,400
C25	81230	81242	240	27,7	C58	82383	82386	60	0,600
C26	81274	81312	760	21,2	C59	82388	82394	120	0,700
C27	81337	81350	260	10,8	C60	82409	82411	40	0,200
C28	81369	81377	160	6,4	C61	82427	82429	40	0,300
C29	81403	81411	160	11,5	C62	82440	82443	60	0,500
C30	81416	81431	300	9	C63	82450	82481	620	1,200
C31	81444	81458	280	8,7	C64	82520	82535	300	2,800
C32	81461	81462	20	0,6	C65	82656	82660	80	0,500
C33	81484	81502	360	20,8					

Vale lembrar que tal informação não indicará necessariamente um ganho, uma vez que com menos material a ser escavado em detrimento ao tipo de material e a quantidade de aterros, existirá a necessidade da utilização de áreas de jazida, o que poderá implicar na disponibilidade de solo em regiões próximas.

### 5.3.1.1 Extensão

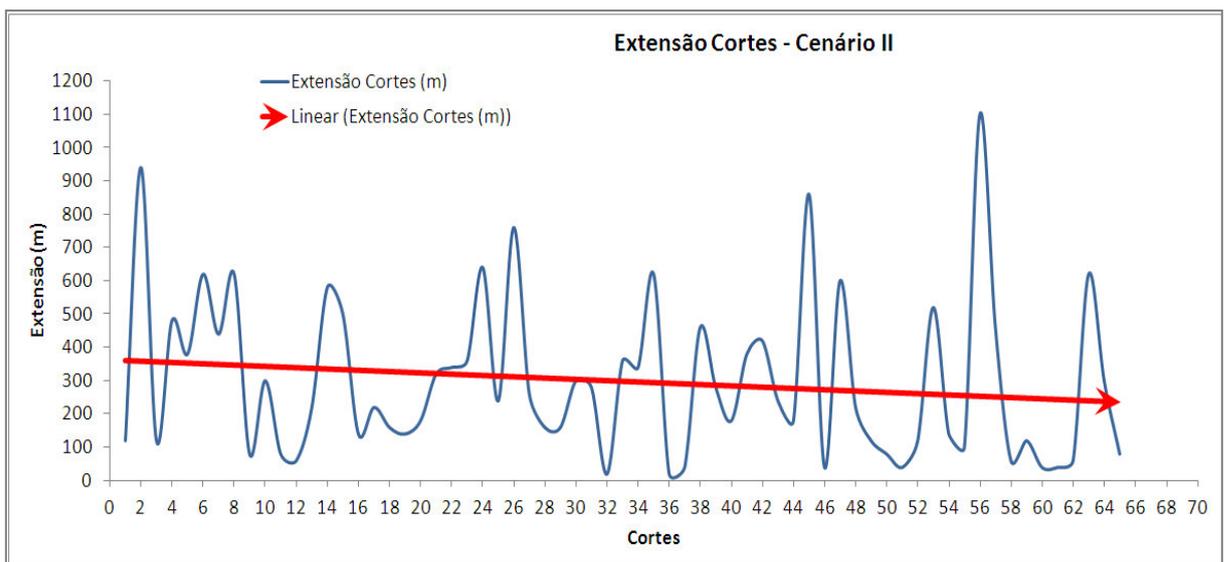
Analisando mais detalhadamente a Tabela 2 e a Tabela 3, pode-se constatar uma tendência de aumento das extensões dos cortes, para o Cenário I, conforme crescimento do traçado, ou seja, um indicativo de que a medida que a obra avança, existirá a necessidade de maiores volumes a serem escavados, conforme ilustrado no Gráfico 1.

**Gráfico 1 – Linha de Tendência Cortes - Cenário I**



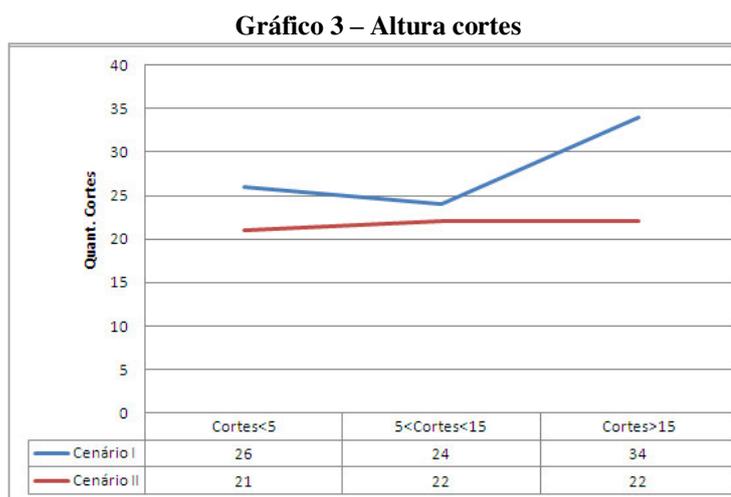
Já no Cenário II, a situação se inverte, pois ocorre uma diminuição dos comprimentos dos trechos em cortes, conforme avançamos sentido ao litoral, vale observar que grande parte dessa condição se deve ao fato do aproveitamento, já no final do trecho, de parte da antiga malha ferroviária (Linha Tronco Centro), conforme Gráfico 2.

**Gráfico 2 – Linha de Tendência Cortes - Cenário II**



### 5.3.1.2 Altura

Conforme os dados apresentados nas Tabelas 2 e 3, pode-se verificar que houve uma redução de 35,29 % do número de cortes com altura superior a 15 metros, tal situação é compilada no Gráfico 3.



Cortes mais altos têm uma tendência a serem menos estáveis, exigindo maior atenção quanto a desmoronamento em sua fase executiva, bem como a maior probabilidade de se encontrar material rochoso em trechos mais profundos.

### 5.3.1.3 Volume

Utilizando as seções transversais, referente ao estaqueamento do traçado da ferrovia, obteve-se os volumes de cada corte para os 2 cenários conforme as Tabelas 4 e 5.

Tabela 4 – Volume cortes – Cenário I

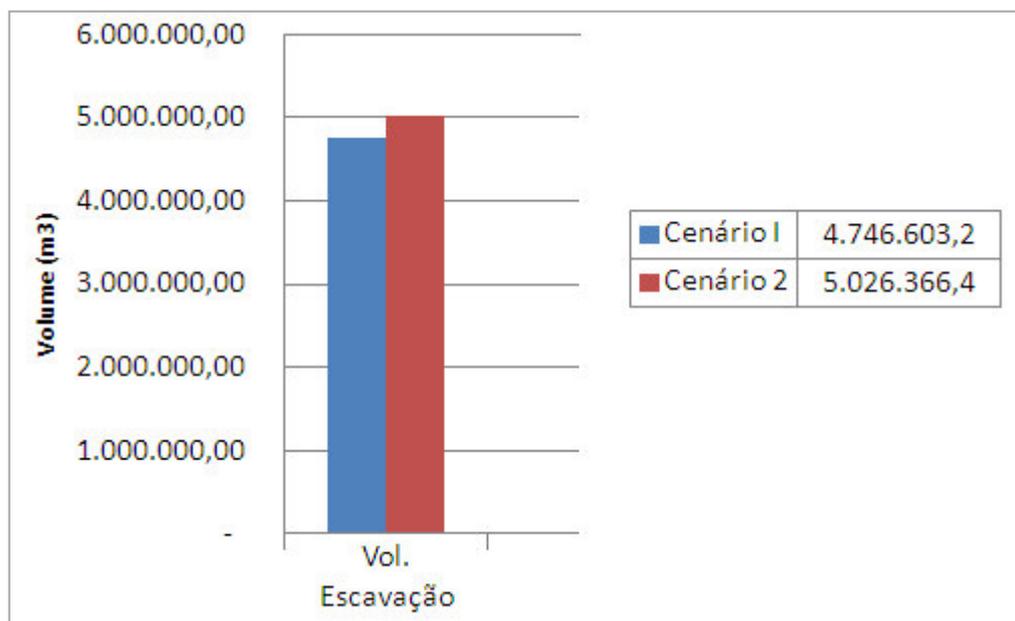
Cortes - Cenário I							
Corte	Volume (m³)	Corte	Volume (m³)	Corte	Volume (m³)	Corte	Volume (m³)
C1	99.003,25	C22	71.159,20	C43	10.814,00	C64	678,00
C2	8.765,00	C23	2.409,00	C44	98,75	C65	431,99
C3	7.074,55	C24	895,30	C45	4.776,00	C66	51.958,00
C4	43.097,50	C25	136.566,25	C46	808,00	C67	2.192,00
C5	66.682,70	C26	55.518,00	C47	82.982,80	C68	41.181,75
C6	8.944,80	C27	105.380,00	C48	217.033,90	C69	23.883,00
C7	3.618,90	C28	120,00	C49	110.132,80	C70	168.165,80
C8	13.509,00	C29	179,00	C50	47.812,45	C71	9.407,00
C9	18,75	C30	23.624,30	C51	1.352,00	C72	26.668,65
C10	9.364,25	C31	178.393,90	C52	164.765,05	C73	73.613,25
C11	55.976,80	C32	134.773,00	C53	34.352,65	C74	96.306,45
C12	96,25	C33	177,00	C54	159.031,60	C75	1.674,45
C13	147,50	C34	76.143,95	C55	187.963,70	C76	1.067,00
C14	63.974,80	C35	180,00	C56	128.847,90	C77	89.691,00
C15	48.933,70	C36	60.089,50	C57	23.252,75	C78	25.962,00
C16	22.337,00	C37	63.965,50	C58	104.659,60	C79	108,00
C17	52.052,00	C38	74.709,00	C59	59.937,99	C80	1.373,00
C18	1.106,00	C39	22.062,70	C60	22,75	C81	167,00
C19	32.944,90	C40	203.898,05	C61	25.660,00	C82	161.473,00
C20	1.874,00	C41	38.666,25	C62	280.214,65	C83	154.875,20
C21	695,00	C42	31.581,50	C63	339.943,90	C84	10.555,40

Tabela 5 – Volume Cortes – Cenário II

Cortes - Cenário II					
Corte	Volume (m³)	Corte	Volume (m³)	Corte	Volume (m³)
C1	6.793,60	C23	229.368,60	C45	258.053,00
C2	599.889,20	C24	292.342,20	C46	66,20
C3	6.071,80	C25	124.962,00	C47	31.924,20
C4	187.173,60	C26	256.599,00	C48	17.805,40
C5	53.392,00	C27	28.043,00	C49	383,00
C6	106.295,80	C28	8.576,80	C50	584,60
C7	32.839,20	C29	19.853,20	C51	1.057,00
C8	60.683,40	C30	95.046,40	C52	157.317,40
C9	4.484,80	C31	28.427,20	C53	1.397,00
C10	14.171,80	C32	3,40	C54	1.197,40
C11	1.044,20	C33	227.854,00	C55	156.200,00
C12	46,40	C34	102.534,00	C56	12.990,40
C13	8.372,00	C35	109.413,40	C57	240.151,80
C14	326.853,60	C36	142,20	C58	2,20
C15	214.233,00	C37	162.726,40	C59	140,80
C16	38.898,80	C38	10.767,72	C60	77,60
C17	159.414,60	C39	38.154,68	C61	1.062,20
C18	25.958,20	C40	41.737,60	C62	1.827,80
C19	14.823,80	C41	87.154,60	C63	3.139,00
C20	49.428,60	C42	12.432,00	C64	189,00
C21	132.620,80	C43	16.005,80	C65	581,90
C22	185.733,20	C44	18.852,00		

Manipulando os dados apresentados nas tabelas 4 e 5, foi construído o Gráfico 4, no qual pode-se constatar um aumento de 279.763,26 m<sup>3</sup> no volume de escavação para o Cenário II em relação ao Cenário I.

**Gráfico 4 – Volume de escavação (m<sup>3</sup>)**



Considera-se como volume mínimo (5,57%) se confrontar com o volume total a ser escavado para as 2 alternativas.

### 5.3.2 Quantidade de Aterros

Para o Cenário I identificou-se a existência de 96 aterros a serem executados, Tabela 6, contra apenas 66 existentes para o Cenário II, Tabela 7, uma redução de 31,25 % no número de trechos em aterro a serem implantados.

Tabela 6 – Descrição Aterros – Cenário I

Aterros - Cenário I									
Aterro	Est. Inicial	Est. Final	Ext. (m)	Alt.(m)	Aterro	Est. Inicial	Est. Final	Ext. (m)	Alt.(m)
A1	80620	80637	340	19,20	A49	81569	81581	240	17,50
A2	80641	80646	100	7,90	A50	81592	81616	480	19,30
A3	80652	80654	40	0,60	A51	81619	81635	320	12,75
A4	80667	80673	120	18,50	A52	81637	81658	420	11,00
A5	80690	80693	60	1,69	A53	81675	81700	500	18,66
A6	80697	80700	60	3,40	A54	81716	81720	80	3,90
A7	80703	80707	80	10,90	A55	81746	81788	840	20,50
A8	80720	80721	20	5,9	A56	81810	81812	40	0,80
A9	80725	80731	120	8,9	A57	81814	81822	160	6,70
A10	80738	80755	340	16,1	A58	81831	81863	640	18,90
A11	80767	80768	20	6,0	A59	81866	81871	100	12,00
A12	80775	80786	220	23,1	A60	81890	81895	100	4,20
A13	80791	80793	40	2,5	A61	81908	81915	140	5,60
A14	80811	80842	620	29,3	A62	81927	81940	260	8,70
A15	80850	80853	60	0,6	A63	81962	81985	460	8,40
A16	80866	80875	180	26,1	A64	81988	82017	580	7,74
A17	80892	80893	20	0,5	A65	82029	82041	240	6,60
A18	80915	80924	180	27,9	A66	82048	82050	40	6,20
A19	80936	80954	360	28,1	A67	82055	82073	360	14,50
A20	80965	80972	140	17,3	A68	82084	82102	360	12,60
A21	80975	80983	160	12,4	A69	82112	82139	540	9,30
A22	80996	81028	640	11,6	A70	82148	82160	240	5,20
A23	81032	81035	60	10,0	A71	82181	82208	540	12,80
A24	81043	81045	40	8,9	A72	82231	82254	460	13,00
A25	81057	81061	80	9,3	A73	82268	82279	220	11,30
A26	81070	81071	20	4,8	A74	82282	82312	600	13,90
A27	81074	81079	100	20,8	A75	82339	82376	740	8,50
A28	81081	81086	100	16,5	A76	82389	82417	560	5,00
A29	81095	81096	20	1,0	A77	82451	82458	140	5,20
A30	81110	81112	40	5,2	A78	82465	82470	100	1,70
A31	81118	81122	80	10,20	A79	82479	82484	100	1,80
A32	81134	81143	180	33,00	A80	82510	82517	140	8,30
A33	81157	81160	60	7,50	A81	82534	82536	40	1,48
A34	81181	81193	240	9,50	A82	82543	82544	20	1,20
A35	81206	81208	40	6,50	A83	82547	82549	40	1,90
A36	81225	81244	380	21,80	A84	82551	82571	400	13,30
A37	81257	81281	480	26,80	A85	82574	82588	280	20,60
A38	81287	81290	60	7,50	A86	82600	82609	180	15,10
A39	81291	81302	220	25,00	A87	82618	82621	60	5,00
A40	81315	81334	380	21,90	A88	82625	82670	900	14,30
A41	81347	81351	80	13,00	A89	82671	82721	1000	18,00
A42	81363	81384	420	15,90	A90	82744	82750	120	14,00
A43	81398	81412	280	19,00	A91	82774	82781	140	11,00
A44	81418	81425	140	9,50	A92	82782	82785	60	4,50
A45	81435	81447	240	9,35	A93	82787	82789	40	1,50
A46	81501	81528	540	11,50	A94	82792	82794	40	7,90
A47	81544	81553	180	15,25	A95	82802	82848	920	8,10
A48	81564	81566	40	3,90	A96	82851	82856	100	0,60

Tabela 7 – Descrição Aterros – Cenário II

Aterros - Cenário II									
Aterro	Est. Inicial	Est. Final	Ext. (m)	Alt.(m)	Aterro	Est. Inicial	Est. Final	Ext. (m)	Alt.(m)
A01	80620	80624	80	14,10	A34	81366	81370	80	5,00
A02	80627	80634	140	10,00	A35	81377	81403	520	34,00
A03	80642	80644	40	5,30	A36	81411	81416	100	16,00
A04	80680	80690	200	18,60	A37	81430	81444	280	20,00
A05	80698	80706	160	19,20	A38	81458	81485	540	25,00
A06	80711	80713	40	5,00	A39	81502	81517	300	21,00
A07	80737	80739	40	4,20	A40	81533	81546	260	20,00
A08	80756	80772	320	9,00	A41	81557	81581	480	16,00
A09	80803	80808	100	10,50	A42	81603	81608	100	7,00
A10	80819	80823	80	1,50	A43	81611	81618	140	11,00
A11	80828	80838	200	10,60	A44	81630	81639	180	10,50
A12	80849	80851	40	2,10	A45	81648	81660	240	9,00
A13	80865	80884	380	13,40	A46	81678	81691	260	8,00
A14	80888	80892	80	9,00	A47	81704	81705	20	0,60
A15	80905	80918	260	7,00	A48	81711	81719	160	10,50
A16	80920	80947	540	10,10	A49	81732	81740	160	10,00
A17	80956	80959	60	2,40	A50	81751	81760	180	11,00
A18	80988	80991	60	12,20	A51	81769	81776	140	16,00
A19	81015	81025	200	39,50	A52	81819	81840	420	4,50
A20	81031	81042	220	33,00	A53	81870	81885	300	9,00
A21	81053	81065	240	27,00	A54	81895	81977	1640	4,00
A22	81073	81081	160	20,30	A55	81983	81991	160	0,50
A23	81088	81104	320	33,00	A56	82016	82187	3420	3,00
A24	81111	81117	120	14,10	A57	82190	82223	660	3,00
A25	81132	81148	320	28,40	A58	82227	82244	340	3,00
A26	81163	81174	220	16,50	A59	82289	82290	20	0,50
A27	81190	81194	80	3,00	A60	82299	82307	160	2,00
A28	81225	81230	100	20,00	A61	82329	82388	1180	5,00
A29	81242	81262	400	17,30	A62	82394	82441	940	0,80
A30	81274	81275	20	1,20	A63	82443	82451	160	0,50
A31	81311	81318	140	16,00	A64	82462	82470	160	0,50
A32	81331	81337	120	12,00	A65	82480	82520	800	1,00
A33	81350	81353	60	5,50	A66	82534	82714	3600	3,50

### 5.3.2.1 Extensão

Assim como nos trechos em corte, observando mais detalhadamente a Tabela 6 e a Tabela 7, notas-se a tendência de aumento considerável nos comprimentos, principalmente nos aterros finais do Cenário II, isso se deve ao fato da utilização do traçado da antiga linha tronco centro, onde as boas condições do terrapleno permitiram um bom aproveitamento da velha infraestrutura ferroviária existente. Tal situação está ilustrada nos Gráficos 5 e 6.

Gráfico 5 – Extensão Aterros – Cenário I

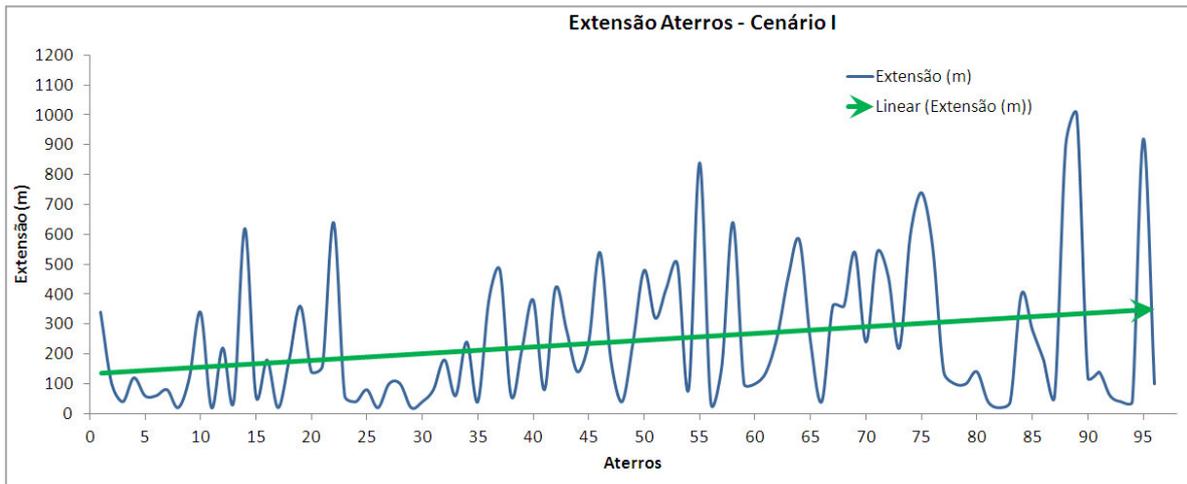
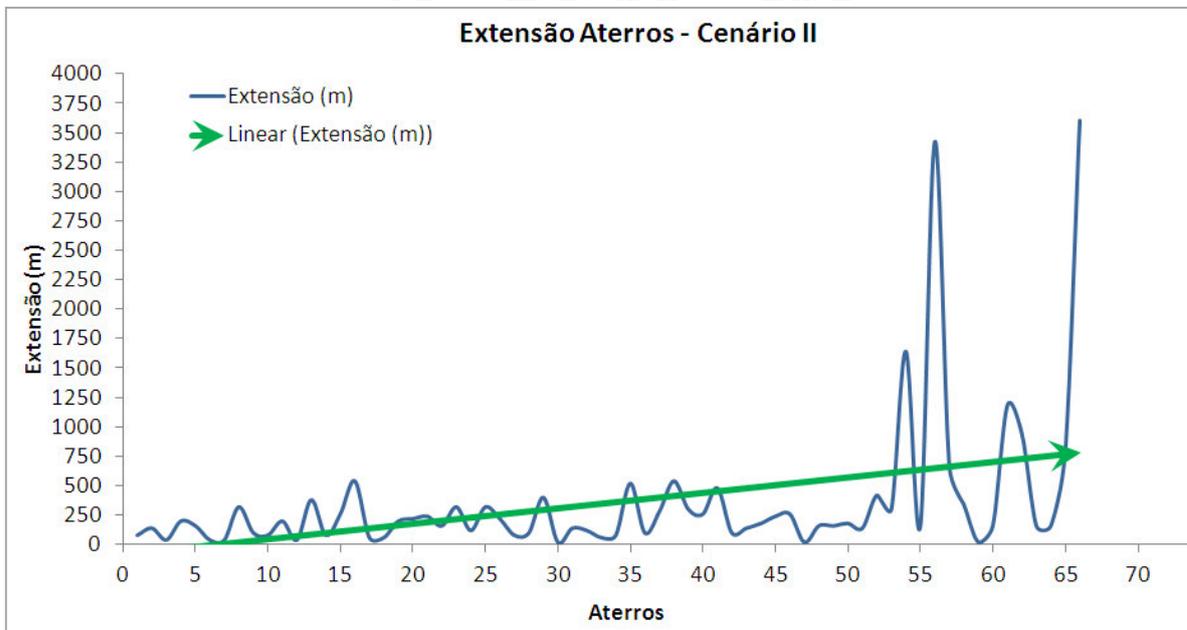


Gráfico 6 – Extensão Aterros – Cenário II

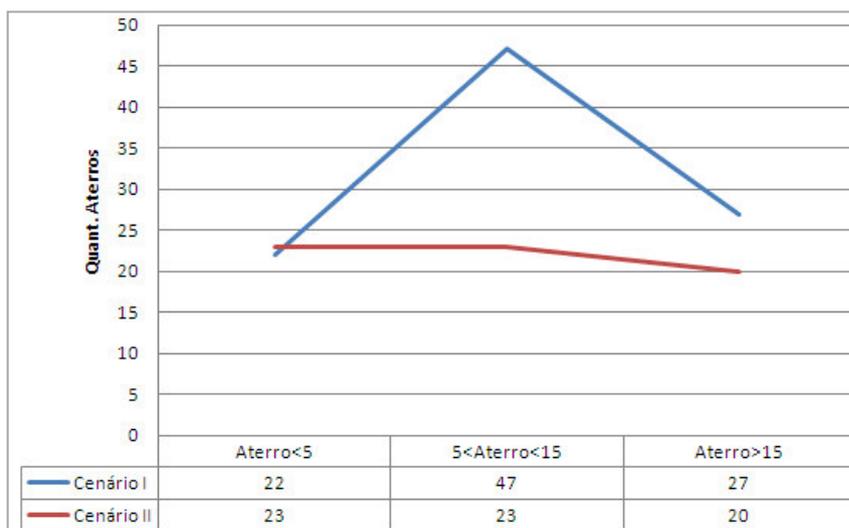


### 5.3.2.2 Altura

Conforme os dados constantes nas Tabelas 6 e 7, verifica-se que houve redução de 51,06% do número de aterros com altura entre 5 a 10 metros e 25,93 % para superior a 15 metros, conforme Gráfico 7.

Aterros altos necessitam de um grande volume de material a ser compactado, exigindo uma origem viável de material nas proximidades, bem como uma maior quantidade de água terá que ser mobilizada, em alguns casos, não disponível na região onde será executado o aterro.

Gráfico 7 – Altura Aterro



### 5.3.2.3 Volume

Assim como nos cortes, obteve-se os volumes de cada aterro através das seções transversais para as 2 alternativas, conforme as Tabelas 8 e 9.

Tabela 8 – Volume Aterros – Cenário I

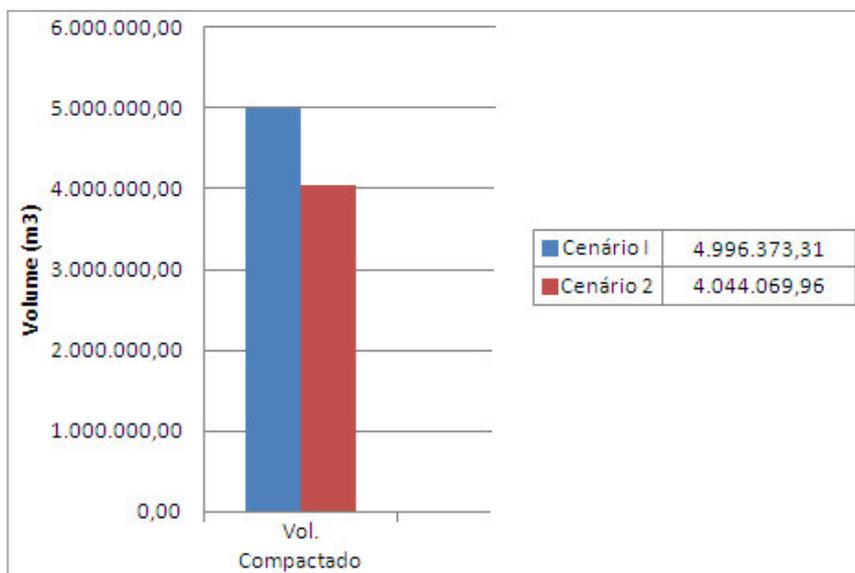
Aterros - Cenário I							
Aterro	Volume (m <sup>3</sup> )	Aterro	Volume (m <sup>3</sup> )	Aterro	Volume (m <sup>3</sup> )	Aterro	Volume (m <sup>3</sup> )
A1	102.204,85	A25	10.013,00	A49	36.999,90	A73	60.445,00
A2	6.921,00	A26	1.636,00	A50	102.171,00	A74	163.555,00
A3	49,00	A27	45.576,00	A51	80.800,45	A75	98.951,88
A4	27.270,00	A28	25.562,00	A52	63.006,25	A76	51.104,78
A5	512,00	A29	408,00	A53	155.460,00	A77	7.058,00
A6	797,00	A30	5.388,00	A54	747,00	A78	1.735,00
A7	13.111,00	A31	16.478,30	A55	262.017,00	A79	1.489,00
A8	118,00	A32	68.576,05	A56	223,00	A80	13.270,00
A9	13.978,00	A33	9.810,00	A57	14.596,00	A81	208,00
A10	46.028,60	A34	11.759,80	A58	337.019,63	A82	70,00
A11	359,00	A35	3.645,00	A59	14.807,00	A83	1.222,20
A12	81.024,00	A36	180.682,00	A60	3.945,00	A84	46.287,30
A13	1.073,00	A37	255.804,15	A61	7.366,80	A85	95.347,96
A14	144.103,00	A38	6.350,75	A62	28.480,00	A86	47.653,00
A15	1.313,00	A39	135.842,20	A63	1.512,00	A87	3.744,00
A16	61.281,00	A40	115.491,20	A64	71.590,00	A88	237.990,89
A17	36,00	A41	13.559,00	A65	15.674,00	A89	242.886,17
A18	99.413,00	A42	77.948,50	A66	82,00	A90	28.078,40
A19	151.063,20	A43	147.756,70	A67	91.121,00	A91	10.500,00
A20	28.391,60	A44	15.364,00	A68	54.490,63	A92	1.716,00
A21	22.566,00	A45	19.603,00	A69	77.834,00	A93	271,00
A22	93.646,85	A46	82.140,00	A70	24.836,52	A94	2.028,00
A23	8.753,00	A47	35.528,00	A71	128.476,00	A95	47.482,00
A24	3.580,80	A48	1.160,00	A72	66.206,00	A96	144,00

Tabela 9 – Volume Aterro – Cenário II

Aterros - Cenário II					
Aterro	Volume (m <sup>3</sup> )	Aterro	Volume (m <sup>3</sup> )	Aterro	Volume (m <sup>3</sup> )
A01	22.445,80	A23	48.439,40	A45	26.015,40
A02	1,40	A24	365.733,60	A46	22.436,00
A03	10.749,60	A25	26.567,80	A47	13.706,00
A04	1.867,00	A26	163.499,60	A48	62,00
A05	90.567,60	A27	83.206,60	A49	23.146,20
A06	95.128,20	A28	2.149,60	A50	30.361,27
A07	1.311,80	A29	53.146,60	A51	10.957,31
A08	1.373,80	A30	73.713,60	A52	46.426,92
A09	29.753,80	A31	124,40	A53	85.301,70
A10	11.862,80	A32	73.136,80	A54	18.805,18
A11	578,40	A33	59.545,40	A55	33.743,20
A12	52.317,40	A34	9.434,40	A56	7.004,00
A13	487,60	A35	17.365,80	A57	83,60
A14	102.840,80	A36	576.179,40	A58	88.323,06
A15	7.328,80	A37	18.270,00	A59	12.175,80
A16	22.045,20	A38	96.826,00	A60	1.454,60
A17	73.280,80	A39	173.658,20	A61	112,80
A18	1.085,60	A40	116.701,00	A62	4.718,00
A19	7.986,60	A41	112.234,60	A63	75.259,60
A20	198.019,00	A42	82.211,00	A64	5.708,20
A21	268.611,00	A43	28.208,20	A65	141.494,93
A22	187.345,80	A44	29.433,40	A66	0,00

Pode-se constatar diminuição de 952.303,35 m<sup>3</sup> no volume a ser compactado para o Cenário II em relação ao Cenário I, conforme ilustrado no Gráfico 8. Esta quantidade pode ser considerada razoável (19,91%) em relação ao volume total a ser escavado para as 2 alternativas.

Gráfico 8 – Volume Compactado



## **5.4 Comparativo**

De posse dos volumes previstos, de corte e de aterro, para os 2 cenários, pode-se, a partir das informações de sondagem, determinar as quantidades de material que será utilizado na execução da infraestrutura, ou seja, identificação dos materiais de 1ª, 2ª e 3ª categorias.

### **5.4.1 Material escavado**

Primeiramente será determinada a qualidade do material existente nos trechos em corte para as 2 opções de traçado, conforme indicado na Tabelas 10 e 11.

Tabela 10 – Material Corte – Cenário I

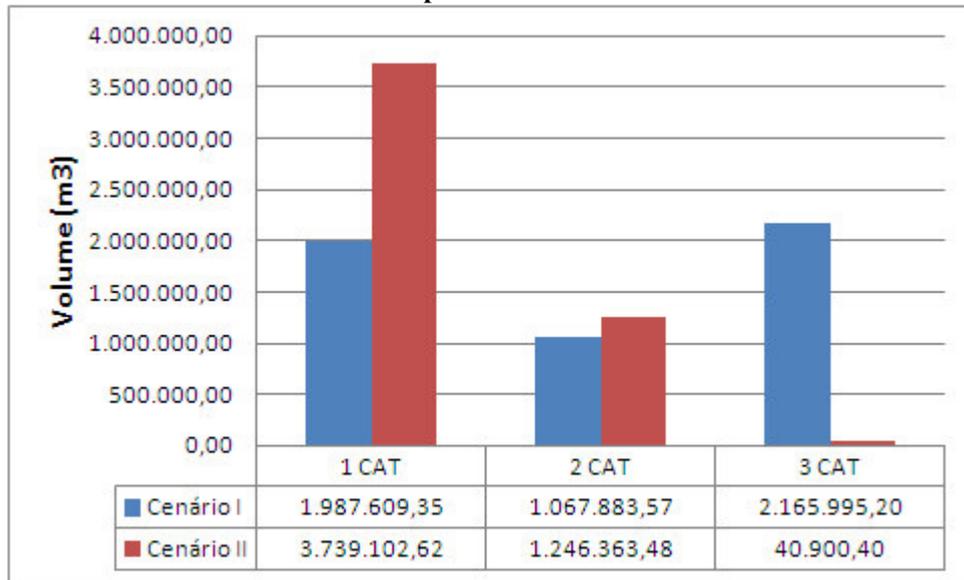
Materiais - Cenário I							
Corte	1 CAT (m³)	2 CAT (m³)	3 CAT (m³)	Corte	1 CAT (m³)	2 CAT (m³)	3 CAT (m³)
C1	25.771,25	0,00	73.232,00	C43	5.428,00	0,00	5.386,00
C2	3.132,00	0,00	5.633,00	C44	98,75	0,00	0,00
C3	2.553,75	0,00	4.520,80	C45	1.719,00	0,00	3.057,00
C4	12.517,50	0,00	30.580,00	C46	783,00	0,00	25,00
C5	13.627,50	0,00	53.055,20	C47	15.202,00	0,00	67.780,80
C6	3.420,00	0,00	5.524,80	C48	39.107,50	0,00	177.926,40
C7	1.937,50	0,00	1.746,40	C49	26.460,00	0,00	83.672,80
C8	5.077,00	0,00	8.432,00	C50	23.906,25	23.906,20	0,00
C9	18,75	0,00	0,00	C51	676,00	676,00	0,00
C10	3.422,50	0,00	6.308,00	C52	82.382,50	82.382,55	0,00
C11	18.230,00	0,00	70.436,00	C53	17.176,25	17.176,40	0,00
C12	96,25	0,00	0,00	C54	79.516,00	79.515,60	0,00
C13	147,50	0,00	0,00	C55	93.982,25	93.981,45	0,00
C14	14.283,75	0,00	25.607,20	C56	64.423,75	64.424,15	0,00
C15	28.077,50	0,00	102.518,40	C57	11.626,25	11.626,50	0,00
C16	6.985,00	0,00	15.352,00	C58	52.330,00	52.329,60	0,00
C17	12.204,00	0,00	39.848,00	C59	28.969,00	28.968,99	0,00
C18	862,00	0,00	244,00	C60	11,25	11,50	0,00
C19	7.042,50	0,00	25.902,40	C61	12.830,00	12.830,00	0,00
C20	951,00	0,00	923,00	C62	168.128,75	112.085,90	0,00
C21	421,00	0,00	274,00	C63	203.966,75	135.977,15	0,00
C22	5.097,50	0,00	88.826,40	C64	407,00	271,00	0,00
C23	481,00	0,00	1.928,00	C65	259,00	172,99	0,00
C24	382,50	0,00	1.036,00	C66	31.175,00	20.783,00	0,00
C25	10.467,25	0,00	126.099,00	C67	1.315,00	877,00	0,00
C26	3.141,00	0,00	52.377,00	C68	6.713,75	0,00	34.468,00
C27	5.696,00	0,00	99.684,20	C69	14.330,00	9.553,00	0,00
C28	64,00	0,00	56,00	C70	100.900,00	67.265,80	0,00
C29	87,00	0,00	92,00	C71	5.644,00	3.763,00	0,00
C30	1.587,50	0,00	22.036,80	C72	16.001,25	10.667,40	0,00
C31	11.267,50	0,00	167.126,40	C73	44.167,50	29.445,75	0,00
C32	6.098,00	0,00	128.675,00	C74	57.783,75	38.522,70	0,00
C33	122,00	0,00	55,00	C75	1.004,00	670,45	0,00
C34	5.096,75	0,00	71.047,20	C76	640,00	427,00	0,00
C35	104,00	0,00	76,00	C77	53.815,00	35.876,00	0,00
C36	4.537,50	0,00	55.552,00	C78	15.577,50	10.384,50	0,00
C37	5.787,50	0,00	58.178,00	C79	65,00	43,00	0,00
C38	3.891,00	0,00	70.818,00	C80	824,00	549,00	0,00
C39	2.427,50	0,00	19.635,20	C81	100,00	67,00	0,00
C40	22.781,25	0,00	234.031,20	C82	64.575,00	64.575,00	32.287,00
C41	10.326,25	0,00	28.340,00	C83	58.078,00	58.078,00	38.719,20
C42	8.937,50	0,00	22.644,00	C84	6.333,00	0,00	4.222,40

Tabela 11 – Material Corte – Cenário II

Materiais - Cenário II							
Corte	1 CAT (m <sup>3</sup> )	2 CAT (m <sup>3</sup> )	3 CAT (m <sup>3</sup> )	Corte	1 CAT (m <sup>3</sup> )	2 CAT (m <sup>3</sup> )	3 CAT (m <sup>3</sup> )
C1	5.095,20	1.698,40	0,00	C34	76.900,50	25.633,50	0,00
C2	449.916,90	149.972,30	0,00	C35	82.060,05	27.353,35	0,00
C3	4.553,85	1.517,95	0,00	C36	106,65	35,55	0,00
C4	140.380,20	46.793,40	0,00	C37	122.044,80	40.681,60	0,00
C5	40.044,00	13.348,00	0,00	C38	8.075,79	2.691,93	0,00
C6	79.721,85	26.573,95	0,00	C39	28.616,01	9.538,67	0,00
C7	24.629,40	8.209,80	0,00	C40	31.303,20	10.434,40	0,00
C8	45.512,55	15.170,85	0,00	C41	65.365,95	21.788,65	0,00
C9	3.363,60	1.121,20	0,00	C42	9.324,00	3.108,00	0,00
C10	10.628,85	3.542,95	0,00	C43	12.004,35	4.001,45	0,00
C11	783,15	261,05	0,00	C44	13.831,80	4.610,60	409,60
C12	34,80	11,60	0,00	C45	164.105,25	54.701,75	39.246,00
C13	6.279,00	2.093,00	0,00	C46	49,65	16,55	0,00
C14	245.140,20	81.713,40	0,00	C47	23.323,50	7.774,50	826,20
C15	160.674,75	53.558,25	0,00	C48	13.040,10	4.346,70	418,60
C16	29.174,10	9.724,70	0,00	C49	287,25	95,75	0,00
C17	119.560,95	39.853,65	0,00	C50	438,45	146,15	0,00
C18	19.468,65	6.489,55	0,00	C51	792,75	264,25	0,00
C19	11.117,85	3.705,95	0,00	C52	117.988,05	39.329,35	0,00
C20	37.071,45	12.357,15	0,00	C53	1.047,75	349,25	0,00
C21	99.465,60	33.155,20	0,00	C54	898,05	299,35	0,00
C22	139.299,90	46.433,30	0,00	C55	117.150,00	39.050,00	0,00
C23	172.026,45	57.342,15	0,00	C56	9.742,80	3.247,60	0,00
C24	219.256,65	73.085,55	0,00	C57	180.113,85	60.037,95	0,00
C25	93.721,50	31.240,50	0,00	C58	1,65	0,55	0,00
C26	192.449,25	64.149,75	0,00	C59	105,60	35,20	0,00
C27	21.032,25	7.010,75	0,00	C60	58,20	19,40	0,00
C28	6.432,60	2.144,20	0,00	C61	796,65	265,55	0,00
C29	14.889,90	4.963,30	0,00	C62	1.370,85	456,95	0,00
C30	71.284,80	23.761,60	0,00	C63	2.354,25	784,75	0,00
C31	21.320,40	7.106,80	0,00	C64	141,75	47,25	0,00
C32	2,55	0,85	0,00	C65	439,47	142,43	0,00
C33	170.890,50	56.963,50	0,00				

Verifica-se, uma significativa redução nas quantidades de material de 3<sup>a</sup> categoria no Cenário II. Com auxílio do Gráfico 9 essa percepção torna-se evidente, uma redução de 2.125.094,80 m<sup>3</sup>, aproximadamente 98,11% de rocha a ser escavada, porém ocorre um aumento de 1.751.493,27 m<sup>3</sup> (88,12%) e 178.479,91 m<sup>3</sup> (16,11%) para os materiais de 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> categorias, respectivamente.

Gráfico 9 – Comparativo materiais escavados



#### 5.4.2 Material Compactado (Aterrado)

A qualidade das quantidades de material utilizado em cada trecho de aterro é indicada nas Tabelas 11 e 12.

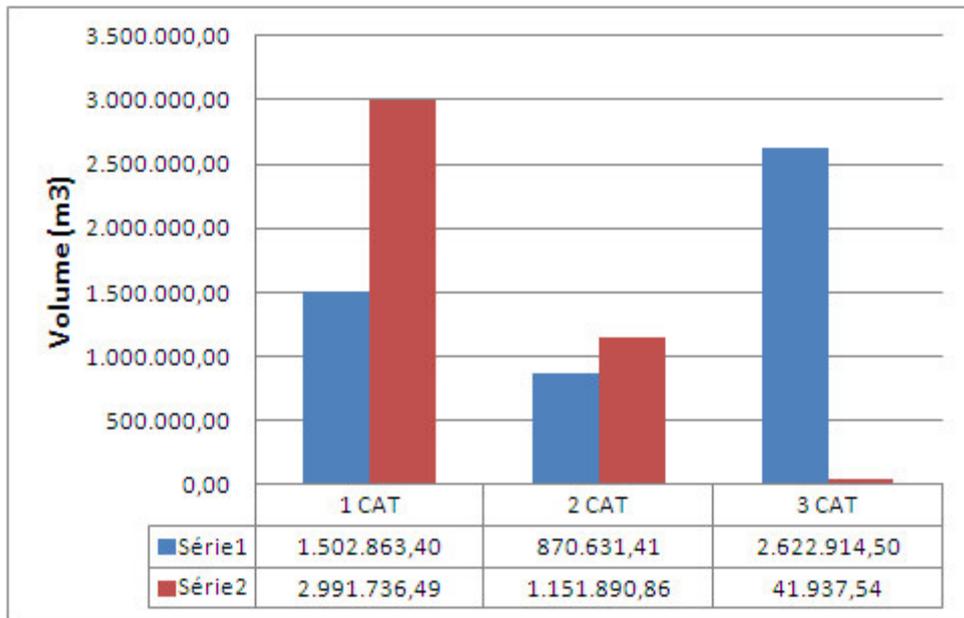
Tabela 12 – Material Aterro – Cenário I

Materiais - Cenário I							
Aterro	1 CAT (m³)	2 CAT (m³)	3 CAT (m³)	Aterro	1 CAT (m³)	2 CAT (m³)	3 CAT (m³)
A1	3.623,60	0,00	98.581,25	A49	5.131,40	0,00	31.868,50
A2	1.270,00	0,00	5.651,00	A50	31.474,00	0,00	70.697,00
A3	49,00	0,00	0,00	A51	2.506,20	0,00	78.294,25
A4	985,00	0,00	26.285,00	A52	3.447,00	0,00	59.559,25
A5	512,00	0,00	0,00	A53	12.366,00	0,00	143.094,00
A6	492,00	0,00	305,00	A54	747,00	0,00	0,00
A7	2.704,00	0,00	10.407,00	A55	52.914,00	0,00	209.103,00
A8	118,00	0,00	0,00	A56	223,00	0,00	0,00
A9	11.795,00	0,00	2.183,00	A57	2.253,00	12.343,00	0,00
A10	35.488,60	0,00	10.540,00	A58	198.183,80	138.835,83	0,00
A11	359,00	0,00	0,00	A59	821,00	13.986,00	0,00
A12	3.168,00	0,00	77.856,00	A60	821,00	3.124,00	0,00
A13	329,00	0,00	744,00	A61	1.148,80	6.218,00	0,00
A14	49.329,00	0,00	94.774,00	A62	2.134,00	26.346,00	0,00
A15	492,00	0,00	821,00	A63	1.512,00	0,00	0,00
A16	1.442,00	0,00	59.839,00	A64	15.569,00	56.021,00	0,00
A17	36,00	0,00	0,00	A65	5.564,00	10.110,00	0,00
A18	19.838,00	0,00	79.575,00	A66	82,00	0,00	0,00
A19	28.388,20	0,00	122.675,00	A67	45.617,00	45.504,00	0,00
A20	5.996,60	0,00	22.395,00	A68	29.300,20	25.190,43	0,00
A21	1.313,00	0,00	21.253,00	A69	77.824,00	10,00	0,00
A22	3.201,60	0,00	90.445,25	A70	11.053,00	13.783,52	0,00
A23	492,00	0,00	8.261,00	A71	33.637,00	94.839,00	0,00
A24	516,80	0,00	3.064,00	A72	66.206,00	0,00	0,00
A25	657,00	0,00	9.356,00	A73	38.671,00	21.774,00	0,00
A26	164,00	0,00	1.472,00	A74	67.088,00	96.467,00	0,00
A27	821,00	0,00	44.755,00	A75	98.565,80	386,08	0,00
A28	821,00	0,00	24.741,00	A76	32.270,00	18.834,78	0,00
A29	164,00	0,00	244,00	A77	1.921,00	0,00	5.137,00
A30	3.685,00	0,00	1.703,00	A78	1.735,00	0,00	0,00
A31	4.820,80	0,00	11.657,50	A79	1.489,00	0,00	0,00
A32	3.104,80	0,00	65.471,25	A80	1.149,00	12.121,00	0,00
A33	492,00	0,00	9.318,00	A81	208,00	0,00	0,00
A34	1.970,80	0,00	9.789,00	A82	70,00	0,00	0,00
A35	329,00	0,00	3.316,00	A83	935,20	287,00	0,00
A36	3.119,00	0,00	177.563,00	A84	45.620,00	667,30	0,00
A37	13.317,40	0,00	242.486,75	A85	87.041,00	8.306,96	0,00
A38	492,00	0,00	5.858,75	A86	6.656,00	40.997,00	0,00
A39	43.562,20	0,00	92.280,00	A87	3.744,00	0,00	0,00
A40	5.353,20	0,00	110.138,00	A88	129.769,20	108.221,69	0,00
A41	657,00	0,00	12.902,00	A89	79.311,60	116.257,82	47.316,75
A42	5.226,00	0,00	72.722,50	A90	985,40	0,00	27.093,00
A43	8.392,20	0,00	139.364,50	A91	1.149,00	0,00	9.351,00
A44	1.149,00	0,00	14.215,00	A92	492,00	0,00	1.224,00
A45	2.042,00	0,00	17.561,00	A93	271,00	0,00	0,00
A46	4.433,00	0,00	77.707,00	A94	2.028,00	0,00	0,00
A47	1.478,00	0,00	34.050,00	A95	22.462,00	0,00	25.020,00
A48	329,00	0,00	831,00	A96	180,00	0,00	0,00

Tabela 13 – Material Aterro – Cenário II

Materiais - Cenário II							
Aterro	1 CAT (m <sup>3</sup> )	2 CAT (m <sup>3</sup> )	3 CAT (m <sup>3</sup> )	Aterro	1 CAT (m <sup>3</sup> )	2 CAT (m <sup>3</sup> )	3 CAT (m <sup>3</sup> )
A01	16.114,95	6.330,85	0,00	A34	6.142,60	3.291,80	0,00
A02	1,03	0,37	0,00	A35	12.265,60	5.100,20	0,00
A03	7.890,66	2.858,94	0,00	A36	416.304,54	159.874,86	0,00
A04	1.370,46	496,54	0,00	A37	12.929,32	5.340,68	0,00
A05	66.480,47	24.087,13	0,00	A38	70.171,34	26.654,66	0,00
A06	69.466,92	25.661,28	0,00	A39	126.569,44	47.088,76	0,00
A07	962,92	348,88	0,00	A40	83.556,35	33.144,65	0,00
A08	1.008,43	365,37	0,00	A41	81.722,73	30.511,87	0,00
A09	21.840,56	7.913,24	0,00	A42	60.165,76	22.045,24	0,00
A10	8.707,80	3.155,00	0,00	A43	19.321,32	8.886,88	0,00
A11	424,57	153,83	0,00	A44	21.605,37	7.828,03	0,00
A12	38.403,20	13.914,20	0,00	A45	17.711,71	8.303,69	0,00
A13	357,92	129,68	0,00	A46	16.468,98	5.967,02	0,00
A14	72.479,31	30.361,49	0,00	A47	10.060,79	3.645,21	0,00
A15	5.379,65	1.949,15	0,00	A48	45,51	16,49	0,00
A16	14.857,62	7.187,58	0,00	A49	14.642,33	8.503,87	0,00
A17	49.757,54	23.523,26	0,00	A50	20.668,92	8.472,95	1.219,40
A18	796,88	288,72	0,00	A51	5.235,72	1.897,00	3.824,59
A19	5.862,50	2.124,10	0,00	A52	26.743,72	9.689,76	9.993,44
A20	145.354,37	52.664,63	0,00	A53	49.137,12	17.803,31	18.361,27
A21	193.715,51	74.895,49	0,00	A54	10.832,52	3.924,83	4.047,83
A22	135.738,41	51.607,39	0,00	A55	22.170,50	8.032,79	3.539,91
A23	35.014,74	13.424,66	0,00	A56	2.939,15	3.113,76	951,09
A24	266.477,29	99.256,31	0,00	A57	0,00	83,60	0,00
A25	19.501,90	7.065,90	0,00	A58	62.183,90	26.139,16	0,00
A26	118.931,99	44.567,61	0,00	A59	8.937,56	3.238,24	0,00
A27	61.077,19	22.129,41	0,00	A60	1.067,74	386,86	0,00
A28	1.577,90	571,70	0,00	A61	82,80	30,00	0,00
A29	37.085,33	16.061,27	0,00	A62	3.463,21	1.254,79	0,00
A30	53.386,47	20.327,13	0,00	A63	52.052,92	23.206,68	0,00
A31	91,31	33,09	0,00	A64	4.190,06	1.518,14	0,00
A32	53.685,52	19.451,28	0,00	A65	102.418,40	39.076,53	0,00
A33	43.708,86	15.836,54	0,00	A66	102.418,40	39.076,53	0,00

Verifica-se uma redução de 2.580.976,96 m<sup>3</sup>, aproximadamente 98,40% de rocha a ser utilizada no corpo de aterro, resultado já esperado devido à diminuição do número de aterros superiores a 10 metros, conforme Gráfico 10. Contudo, há aumento de 1.488.873,09 m<sup>3</sup> (99,07%) e 281.259,45 m<sup>3</sup> (32,31%) para o uso de materiais de 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> categorias, respectivamente.

**Gráfico 10 – Comparativo Material compactado (Aterrado)**

## 6. CONCLUSÃO

Após a obtenção e análise dos resultados, pôde-se observar mudança significativa na qualidade do material ao qual será trabalhado nos serviços de terraplenagem, ou seja, uma diminuição dos volumes em material de 3ª categoria, que possivelmente seriam destinados a um bota-fora, em detrimento de um aumento nas quantidades de material em 1ª categoria como podemos verificar nos resultados encontrados, possibilitando assim um planejamento mais eficaz quanto à execução dos serviços de infraestrutura, uma vez que as condições até então previstas não serão mais aplicáveis.

Este fato implicará positivamente nos tipos de equipamentos a serem utilizados, ou seja, com a diminuição da existência de material rochoso, reduz-se a utilização de explosivos, um componente perigoso e com alto custo de aquisição e utilização, e a utilização de maquinário pesado, ao qual tendem a apresentar menor produtividade.

O aproveitamento de parte do trecho da antiga linha férrea proporcionou condições mais favoráveis ao Cenário II apesar do aumento nos volumes a serem escavados, a redução da altura garantiu maior estabilidade do terreno, evitando possíveis deslizamentos e necessidade de retrabalhos durante a operação da ferrovia.

Contudo deve-se fazer duas considerações importantes: o Cenário I não é identificado como uma escolha errada ou alternativa ruim, admitindo esta configuração apenas para as condições aqui analisadas. Talvez para as condições anteriores de projeto (antes da construção da barragem) se apresentasse como melhor alternativa e que outros fatores deverão ser levados em consideração para a real definição da alternativa mais eficiente, como as alterações nas OAE's e OAC's entre os dois cenários.

Assim, face às simulações apresentadas, conclui-se que a implantação da barragem Serro Azul contribuiu para a definição de um traçado mais eficiente, ao menos em termos de movimentação de terra, sendo necessárias análises de outros segmentos, por exemplo, eficiência da operação, para que possa se chegar à conclusão que a implantação da barragem trouxe benefícios para toda a ferrovia.

## REFERÊNCIAS

- ABRAM, Isaac; ROCHA, Aroldo V. Manual Prático de Terraplenagem. Salvador, Bahia. 2000.
- ANDRADE, Manuel Correia de Oliveira. Atlas Geográfico de Pernambuco: Espaço Geo-Histórico e Cultural. 2ª Ed. João Pessoa: Grafset, 2003.
- ANTF. (2013a) – Agenda Legislativa das ferrovias de Carga – Investimentos – pp. 08 a 09.
- ANTF. (2013b) – Agenda Legislativa das ferrovias de Carga – Concessionárias – pp. 15 a 17.
- ANTF - Associação Nacional dos Transportadores Ferroviários. Disponível em: <<http://www.antf.org.br>> Acesso em: 20/10/2013.
- DNER, 1996 – manual de implantação básica, pág 109
- DNIT. Manual de conservação rodoviária. Publicação IPR-106. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. 2009
- ENEFER. (2008a) – Projeto Executivo de Infraestrutura – Volume 3 : Memória Justificativa – pp. 80 a 87.
- ENEFER. (2008b) – Projeto Executivo de Infraestrutura – Volume 1 : Relatório de Projeto – pp. 140 a 145.
- Itep, OS. (2011) – Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) da Barragem Serro Azul – UGP Barragens – pp. 12.
- Jornal Grande Litoral, 26/03/2013 – pp 18.
- PEREIRA, C. A. F.; FONSECA, E. W. A evolução do processo decisório. ENEGEP, 1997
- PIMENTA, C.R.T; OLIVEIRA, M.P (2004). Projeto geométrico de rodovias. São Carlos: Ed. Rima. 2004. 198p
- TCU. (2012) – Tribunal de Contas da União - Relatório de Fiscalização Sintético – pp. 05 a 06.
- TLSA(2012) - <http://www.csn.com.br/irj/portal/anonymous?NavigationTarget=navurl://48e> - 08 de julho de 2013 as 16:55.
- URIS, M. H. Processo decisório. Rio de Janeiro: Elsevier, 1989. – 3ª reimpressão.