

ÁLVARO RODRIGUES DOS SANTOS

A grande barreira da

Serra do Mar

Da Trilha dos Tupiniquins à Rodovia dos Imigrantes

A SERRA • O CLIMA • A FLORESTA
ORIGEM GEOLÓGICA • OS SOLOS
ESCORREGAMENTOS • EVOLUÇÃO
DAS ENCOSTAS • TRANSPOSIÇÕES
VIÁRIAS DE 1500 A 2003 • OS
ASPECTOS HISTÓRICOS E OS
TECNOLÓGICOS • O FUTURO

 NOME
DA ROSA

 CTEC

Desde o descobrimento do Brasil e o início da colonização de seu território sudeste, a Serra do Mar, por sua acidentada topografia, por seus abruptos desníveis entre a Baixada Marinha e o Planalto, e pela grande suscetibilidade de suas encostas a escorregamentos de solos e rochas, apresentou-se como formidável barreira à livre circulação de pessoas e mercadorias entre seu litoral portuário e o interior do país, impondo consideráveis restrições ao desenvolvimento econômico e social da região. Dadas essas características naturais da Serra, invariavelmente as estradas abertas para sua transposição enfrentaram terríveis problemas em sua construção e operação, impondo um pesado ônus à sociedade para mantê-las, ainda que precariamente, em funcionamento.

Apenas recentemente a Engenharia Brasileira convenceu-se de que, para superar com sucesso esse desafio de ordem topográfica, geológica e geotécnica, era preciso progredir nos conhecimentos dos fenômenos e comportamentos naturais e induzidos das encostas da Serra. Essa foi uma compreensão importantíssima do problema, pois possibilitou a migração da anterior e desastrosa postura de “vencer a Serra a qualquer custo” para uma atitude mais inteligente e superior de “conhecer e respeitar a Serra”.

Sob outro ângulo, fosse sua topografia um pouco mais suave e suas encostas menos susceptíveis a escorregamentos, por certo a Serra do Mar, com suas maravilhosas e generosas características naturais, teria já sido, a exemplo de outras regiões que lhe são limítrofes, totalmente desmatada e desfigurada — fato que representa hoje uma verdadeira bênção para as enormes concentrações populacionais que lhe são próximas.

Este livro é um convite a uma maior e melhor compreensão desse instigante capítulo da história das relações entre o Homem e a Natureza.

 NOME
DA ROSA

 ET PRODUTOS
E DIFUSÃO



ISBN 85-86872-35-0



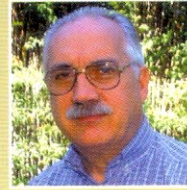
Dentre as diversas unidades geográficas deste país de dimensões continentais, que expõem os seus desafios à ocupação, destaca-se a barreira da Serra do Mar, cuja transposição, desde a época colonial até os dias atuais, constitui verdadeira epopéia das páginas da Engenharia Civil na formação da civilização brasileira.

Esta história é contada neste livro pela ótica da Geologia de Engenharia, que cresceu porque soube compreender o comportamento dos terrenos brasileiros para os projetos da Engenharia nacional, incluindo a compreensão geotécnica deste verdadeiro organismo geológico vivo que é a Serra do Mar.

É uma história que entrelaça as histórias das obras de engenharia e do conhecimento geológico, contada por quem vivenciou, desde o início de sua formação profissional, os desafios da Serra do Mar, quando foi contratado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas, iniciando uma carreira que o destaca como um dos principais responsáveis pelo desenvolvimento da Geologia de Engenharia brasileira.

**Geól. Dr. Antonio Manoel
dos Santos Oliveira**

Laboratório de Geoprocessamento
Universidade Guarulhos



Álvaro Rodrigues dos Santos

Geólogo nascido em Batatais, São Paulo, e formado pela Universidade de São Paulo em 1968.

Com algumas passagens pela empresa privada, teve sua carreira técnica basicamente desenvolvida no IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, desde sua contratação em 1969. Pesquisador Sênior, ocupou diversos cargos e funções, tendo sido Diretor da Divisão de Minas e Geologia Aplicada e Diretor Executivo de Planejamento e Gestão do IPT.

Teve a oportunidade de trabalhar com os mais diferentes tipos de obras e ações de uso e ocupação do solo e colaborou especialmente para o desenvolvimento da Geologia de Engenharia aplicada a Obras Viárias, Estabilidade de Taludes de Corte e Encostas e Problemas Urbanos. Vários dos projetos de pesquisa e de engenharia dos quais participou relacionaram-se diretamente com a Serra do Mar, o que lhe permitiu aprofundar-se aplicadamente no entendimento geológico e geotécnico dessa singular região do sudeste brasileiro.

Ao longo de sua carreira, dedicou especial atenção à formulação conceitual e metodológica da Geologia de Engenharia brasileira, pleiteando para esta seu entendimento como uma Geociência Aplicada, com plena e intrínseca vinculação ao universo científico e analítico da Geologia, tese consagrada em seu livro *Geologia de Engenharia: Conceitos, Método e Prática*, lançado em 2002.

ÁLVARO RODRIGUES DOS SANTOS

A grande barreira da

Serra do Mar

Da Trilha dos Tupiniquins à Rodovia dos Imigrantes

2ª edição

2023

Copyright @ O Nome da Rosa Editora Ltda.

Editora
Tula Melo

Assistente editorial
Cayube Galas

Revisão
Ivete Batista dos Santos

Projeto gráfico e capa
Sérgio Gonzalez

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Santos, Álvaro Rodrigues dos
A grande barreira da Serra do Mar : da trilha dos Tupiniquins à
Rodovia dos Imigrantes / Álvaro Rodrigues dos Santos. — São Paulo :
O Nome da Rosa, 2004.

Bibliografia.
ISBN 85-86872-35-0

1. Geologia 2. Geologia de engenharia 3. Geomorfologia 4. Geotécnica
5. Mar, Serra do - Descrição e viagens 6. Mar, Serra do - História I. Título.
04-6202 CDD-624.1510981

Índices para catálogo sistemático:

Primeira edição — setembro de 2004

Segunda edição – abril de 2023

Todos os direitos desta edição, reprodução ou tradução reservados pela O Nome da Rosa Editora Ltda. Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida ou transmitida de nenhuma forma ou por nenhum meio, sem autorização expressa da editora.

R. Simão Álvares, 484 — Pinheiros — São Paulo — SP — CEP: 05417-020
PABX: (0**11) 3817-5000
nomedarosa@nomedarosa.com.br
www.nomedarosa.com.br

Dedicatória

Dedico este singelo livro aos “peões” — trabalhadores braçais e guias — que anonimamente me ajudaram em meus trabalhos na Serra do Mar, tornando-me as coisas possíveis. Gente simples, generosa, guiaram-me entre os perigos e os abrigos da natureza, revelando-me suas belezas e segredos. Brasileiros esquecidos, que, quando tratados com respeito e reconhecimento, tudo e só o que mais querem, nos impressionam com sua dedicação e criatividade, e nos premiam com seu largo e gostoso sorriso.

Estendo essa dedicatória aos dois técnicos que me acompanharam em inúmeros serviços na Serra do Mar, desde minha primeira contratação pelo IPT em 1969, e com os quais tive a dádiva de conviver em profissionalismo, amizade, lealdade, espírito de aventura e, com a graça do bom Deus, muita alegria e bom humor: Eber Ferracini e Pedro de Oliveira Franco.

Certamente seria impossível produzir um livro como este, com tantas informações, ilustrações e registros, sem a estreita colaboração de instituições e profissionais ligados ao tema.

É necessário e justo, portanto, meu sincero reconhecimento a todos os que contribuíram na indicação de fontes e na cessão de ilustrações, aos profissionais responsáveis pela produção e guarda da memória brasileira, historiadores, cartofilistas, bibliotecárias, a quem tanto me socorri e cujo trabalho mais uma vez aprendi a admirar e respeitar.

Aos amigos e exímios profissionais Aroldo Ribeiro, Geraldo Gama, Leandro Cerri, Eduardo Macedo e Luís Antônio Laps que mais uma vez gentilmente me valeram em várias situações, fico a dever uma montanha (certamente da Serra do Mar) de favores.

Prefácio

O movimento da contracultura dos anos 60 do século passado, de tantas vertentes, de alguma forma repetiu alguns temas da contracultura romântica do século XIX, tais como um certo orientalismo, a ecologia e o retorno à natureza, desta vez no contexto de uma época dominada pelos avanços da ciência e da tecnologia.

Dentre tais avanços, há que se destacar a exploração espacial, que trouxe tanto um grande número de novas técnicas e ferramentas de teledetecção, quanto uma mudança na percepção do homem comum com relação ao planeta, pela primeira vez observado de maneira direta em sua singularidade e finitude. *A Terra é azul... A nave Terra...* são expressões desse tempo.

Essa percepção coincide com a eclosão do movimento ambientalista e com a produção de artefatos de sensoriamento remoto que permitiam captar as diferentes camadas de informação sobre a superfície e sub-superfície terrestres — fatores convergentes com o desenvolvimento de métodos de estudo holísticos e de caráter georreferenciado, ou seja, de estratégias relacionadas com a territorialidade.

No campo das geociências, de particular interesse para esta obra, também ocorriam grandes mudanças de conceitos e métodos, impulsionadas pela mudança de paradigma trazida pela teoria da tectônica de placas. Adicionalmente, é preciso notar que a Geomorfologia, elo entre substrato geológico e agentes da dinâmica externa, passava a dar mais destaque à sucessão de sistemas morfogenéticos e aos processos, ou seja, à evolução das paisagens, no contexto da evolução do Quaternário.

No ambiente dessas idéias, a então nascente Geologia Aplicada, que se colocava de modo quase que complementar a disciplinas da Engenharia, veio a adquirir características mais abrangentes, tanto no que diz respeito à ampliação dos limites físicos das áreas de estudo para implantação de obras, quanto às suas relações com outros campos de estudo, dando origem à atual Geologia de Engenharia. Esta se viu, portanto, fortalecida ao resgatar sua base conceitual geocientífica, o que lhe conferiu maior eficiência para as ações da Engenharia, tanto as de caráter local quanto as regionais.

Acrescente-se a isso a necessidade, em maior ou menor grau, de estudarem-se as relações entre obras e meio socioeconômico, e chega-se a estudos multidisciplinares bastante complexos, que em parte tornaram-se possíveis pelos avanços na aquisição, tratamento e representação de dados, propiciados pela vulgarização da Informática.

Os estudos realizados na Serra do Mar enfocados nesta obra são bastante representativos dessas diversas etapas e abordagens e são aqui expostos pelo mesmo autor que escreveu em 1976 um ensaio cujo título já manifestava as tendências do holismo e naturalismo que permeavam as idéias daquela época: *Por menos ensaios e instrumentações e por uma maior observação da natureza.*

Geól. Waldir Lopes Ponçano

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO

SERRA DO MAR: CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

ORIGEM E EVOLUÇÃO DA SERRA DO MAR: O AVANÇO DOS CONHECIMENTOS

Geologia

Geomorfologia

Engenharia Geotécnica

Geologia de Engenharia

TRANSPOSIÇÕES VIÁRIAS DA SERRA DO MAR

Trilha dos Tupiniquins

Caminho do Padre José

Novo caminho do Cubatão

Calçada do Lorena

Aterrado de Cubatão

Estrada da Maioridade

Estrada de ferro Santos–Jundiaí

Caminho do mar

Estrada de ferro Sorocabana

Via Anchieta

Rodovia dos Imigrantes

O HOMEM COMO AGENTE POTENCIALIZADOR DA DINÂMICA EVOLUTIVA DA ESCARPA DA SERRA DO MAR

O FUTURO

POEMA

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Nota sobre as fotos:

A Editora e o autor pedem a compreensão dos leitores para o fato de algumas reproduções de fotos não apresentarem boa resolução técnica, pois boa parte das fotos são bastante antigas ou foram tomadas por técnicos quando em serviços de campo. No entanto, todas são importantes para os objetivos técnicos do livro.

INTRODUÇÃO

O livro e seus objetivos

Desde o descobrimento do Brasil e o início da colonização de seu território sudeste, a Serra do Mar apresentou-se como formidável barreira à penetração dos colonizadores para o interior e ao escoamento de suas riquezas para o litoral portuário.

Basta dizer que, até perto de 1800, as vias de penetração da Baixada Santista para o Planalto não passavam de algo pouquíssimo melhor que as preexistentes trilhas indígenas. Mesmo após a implantação de estradas tecnicamente mais arrojadas — como a Estrada da Maioridade, a São Paulo Railway, o Caminho do Mar, a Estrada de Ferro Sorocabana —, os problemas geológico-geotécnicos enfrentados pela operação e pela manutenção dessas vias eram de tal ordem que a Serra do Mar continuou por mais quase dois séculos a constituir um formidável entrave geográfico ao pleno desenvolvimento econômico e social do sudeste brasileiro e do Estado de São Paulo em particular.

O fato é que, desde cedo, especialmente a partir do Caminho do Padre José, aberto em 1560, cujas melhorias buscavam, entre outros propósitos, permitir o transporte de material militar para o Planalto nos ombros de escravos índios e negros e no lombo de mulas, começou-se a perceber que a Serra do Mar não representava apenas uma formidável barreira topográfica. À medida que os meios de transporte exigiam estradas mais largas e com rampas menos acentuadas, foram inevitáveis obras — como cortes e aterros —, que implicavam problemáticas interferências no equilíbrio natural das encostas da Serra. Apresentou-se então, como problema adicional ao grande desnível topográfico e acentuadas declividades do terreno, a enorme suscetibilidade natural dessas encostas a escorregamentos de solos e rochas, os quais tornaram as obras, como a própria operação das estradas, uma incrível odisséia técnica e financeira para a sociedade paulista, muitas vezes com tons trágicos de perdas de inúmeras vidas humanas.

Apenas recentemente a Engenharia Brasileira convenceu-se de que, para superar com sucesso esse desafio de ordem geológica e geotécnica, era preciso progredir nos conhecimentos da Dinâmica Externa da Serra¹, de tal sorte que os projetos e obras de intervenção admitissem características que de alguma forma buscassem assimilar e

¹ Nosso planeta é moldado por dois grandes conjuntos de forças. As forças internas, devidas à enorme quantidade de energia térmica do interior do planeta, responsável por grandes tensões e pressões internas, pelo vulcanismo, pelos grandes movimentos tectônicos, terremotos, etc., e as forças externas, ligadas aos agentes meteóricos (temperatura, ventos, águas) e biológicos que agem diretamente sobre a superfície do planeta, decompondo as rochas, erodindo terrenos e depositando os sedimentos então originados. A Dinâmica Externa de uma determinada região diz respeito ao conjunto de processos superficiais responsáveis pela formação e evolução do relevo naquela região, estando portanto intimamente associada às forças externas que moldam a superfície do planeta. No caso da Serra do Mar, os processos mais importantes de sua Dinâmica Externa são os movimentos de massa (escorregamentos de vários tipos), para os quais concorrem a combinação de vários fatores, como inclinação e forma das encostas, a vegetação, os tipos de rochas e solos presentes e a pluviosidade.

contornar os problemas colocados pela natureza. Essa foi uma compreensão importantíssima do problema, pois possibilitou a migração da anterior postura de “vencer a Serra a qualquer custo” para uma atitude mais inteligente e superior de “conhecer e respeitar a Serra”.

Hoje pode-se dizer que, graças especialmente à dedicação de seus geólogos, geomorfólogos e engenheiros, o país encontra-se em um elevado patamar de conhecimentos sobre os movimentos de massa que se verificam natural e induzidamente na Serra, guiando a Tecnologia Brasileira provavelmente ao nível mais alto de conhecimentos e experiência na implantação de obras em regiões serranas tropicais úmidas.

Este livro tem o objetivo de expor a evolução dos conhecimentos sobre a problemática geológico-geotécnica da Serra do Mar e como esses conhecimentos se refletiram nas diversas tecnologias de transposição viária entre a Baixada Santista e o Planalto, desde a Trilha dos Tupiniquins até a recente Pista Descendente da Rodovia dos Imigrantes.

Constitui especial propósito do autor que o registro sistematizado e organizado desses conhecimentos e impressões possa servir à informação e ao aprendizado de nossos estudantes de Engenharia e Geologia, como também de todos os profissionais que, por alguma necessidade, já trabalham ou possam vir a trabalhar nos domínios da Serra do Mar ou regiões serranas tropicais similares.

É importante registrar que, ainda que as transposições viárias consideradas situem-se no trecho da Serra do Mar compreendido entre a Baixada Santista e o Planalto de Piratininga, as ponderações e conclusões de ordem técnica e fenomenológica certamente são válidas para toda a extensão da Serra ao longo do Sudeste brasileiro. A cada concentração urbana do litoral corresponde uma longa e rica história de caminhos de ligação com o Planalto Atlântico, por certo muito semelhante àquela que se desenvolveu entre Santos, São Vicente, Cubatão e São Paulo. Do ponto de vista estritamente fenomenológico, pode-se dizer que, ressalvadas algumas poucas especificidades, as afirmações registradas são igualmente válidas para todas as regiões serranas tropicais úmidas do planeta.

Uma formidável compensação

“Para começar, aí está o fator orográfico. É o primeiro a chamar a atenção do observador.

...Vai-se aos mapas e verifica-se que nos Estados Unidos toda a costa atlântica, da Flórida ao Estado de Nova York, é constituída de uma planície ininterrupta, e que as cadeias dos Alleghenies e dos Apalaches distam da costa cerca de 300 quilômetros.

...Atente-se agora para o mapa do Brasil. A partir do Rio de Janeiro rumo ao sul, o Maciço Atlântico compreendendo três sistemas, as Serras do Mar, Geral e da Mantiqueira, em toda extensão da costa, sempre à vista, acompanhando o mar... E sempre a pique, por vezes avançando até o oceano, a dificultar a penetração do homem”.

Assim se expressou o grande escritor Vianna Moog em seu formidável livro *Bandeirantes e Pioneiros — um paralelo entre duas culturas*, para enfatizar a importância do fator orográfico da Serra do Mar como um dos fatores que retardaram o desenvolvimento econômico e social do Brasil em relação aos Estados Unidos da América.





Fotos tomadas da Baixada para a Serra. É interessante o leitor imaginar o que essa visão representou para os primeiros colonizadores e mesmo ao longo de vários séculos após, quando as tecnologias de transposição viária mostravam-se ainda bastante rudimentares. Essa magnífica barreira natural influenciou decisivamente o ritmo e as características do desenvolvimento econômico e social do Sudeste brasileiro. (acima, foto Laps, 2004, abaixo, foto do autor, 2012)

Mas, se por um lado a topografia acidentada e a suscetibilidade a escorregamentos fizeram com que a Serra do Mar constituísse um grave obstáculo à sua ocupação e à circulação plena e fácil de bens e indivíduos entre o Planalto Atlântico e o litoral sudeste brasileiro, impondo incríveis dificuldades econômicas para a região, foram esses mesmos atributos físicos que possibilitaram a preservação da mais extensa mancha remanescente da rica e exuberante Mata Atlântica no país.

Quando da chegada dos europeus ao Brasil, a Mata Atlântica cobria em todo país perto de 1 milhão e 290 mil quilômetros quadrados, cerca de 12% do território. Ao final do século XX restavam somente 95 mil quilômetros quadrados, menos de 8% do original. Em São Paulo, o que restou da Mata Atlântica, cerca de 7% de sua extensão original no Estado, deve-se em boa parte à Serra do Mar.

Hoje a Serra do Mar paulista, de Itariri, no extremo sul do Estado, até o Estado do Rio de Janeiro, em uma extensão de 315,5 mil hectares, está protegida por severas leis ambientais e constitui, desde 1977, o Parque Estadual da Serra do Mar.

É um sortilégio abençoado para toda a nação, e especialmente para a região Sudeste, ter, a alguns poucos quilômetros de suas maiores concentrações urbanas, uma fantástica floresta natural intocada, com seus incomparáveis benefícios ambientais, culturais e espirituais para toda a população.

Fosse sua topografia um pouco mais suave e suas encostas menos suscetíveis a escorregamentos, por certo essa região, a exemplo de outras que lhe são limítrofes, teria já sido totalmente desmatada e desfigurada de suas tão extraordinárias prerrogativas naturais.

Base conceitual da Geologia de Engenharia

Como já referido, a abordagem técnica que este livro faz da fenomenologia geológico-geotécnica das encostas da Serra do Mar é construída a partir da ótica da Geologia de Engenharia. Vale, portanto, para os leitores não tão afeitos ao tema, tecer algumas rápidas considerações sobre essa importante especialidade.

A Geologia de Engenharia é uma Geociência Aplicada bastante recente no país. Teve especial desenvolvimento nas décadas de 60 e 70 do século XX, quando solicitada em apoio às grandes obras de infra-estrutura que eram construídas no país em larga escala.

A **Geociência Aplicada** pode ser concisamente entendida como a **responsável pela interface tecnológica entre as atividades humanas e o meio físico geológico**. Assim, a missão básica da Geologia de Engenharia é **diagnosticar, compreender e descrever a natureza dos terrenos a serem afetados por um determinado empreendimento humano, identificando a dinâmica dos fenômenos geológico-geotécnicos naturais e daqueles decorrentes da intervenção que se pretende, a fim de, juntamente com a Engenharia Geotécnica, encontrar e conceber as mais corretas formas de combinar harmônica e exitosamente as operações de engenharia e a natureza geológica dos terrenos envolvidos**.

Daí, a essencial importância da **exatidão do diagnóstico** fornecido pelo geólogo de engenharia.

É indispensável, nesse contexto, que o geólogo saiba exatamente quais os tipos mais comuns de solicitações que os diferentes empreendimentos (barragens, estradas, minerações, agricultura, cidades, metrô, aterros sanitários, etc.) impõem aos terrenos, o que lhe permitirá orientar e objetivar as investigações que se seguirão e a comunicação de seus resultados.

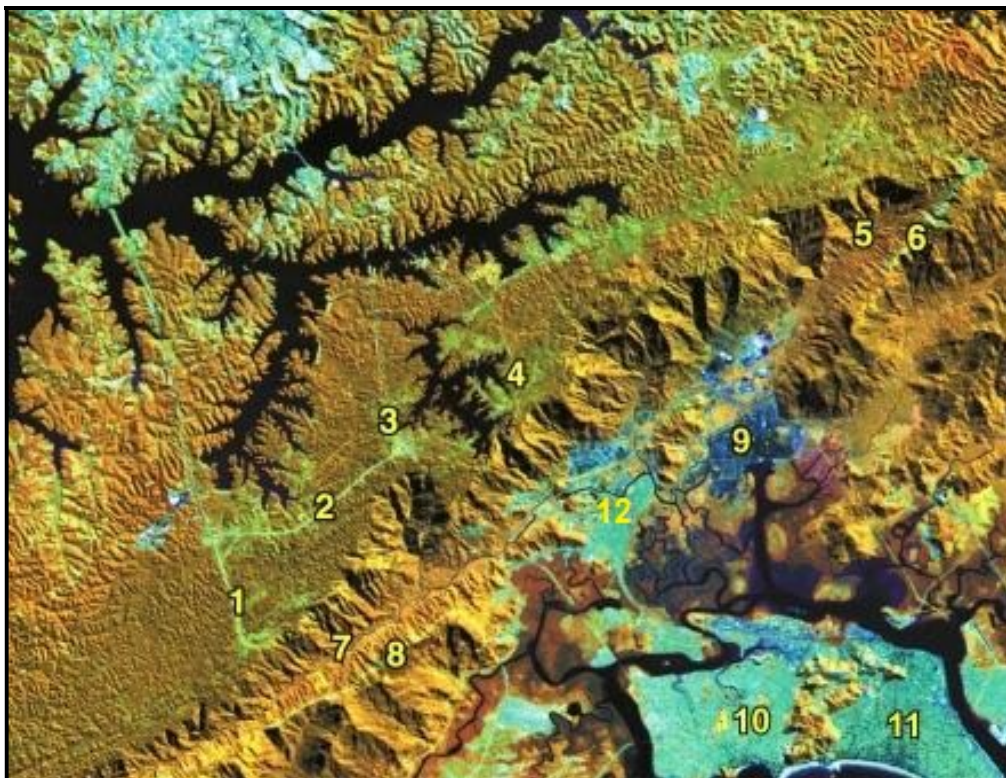
Por outro lado, a Geologia de Engenharia só conseguirá cumprir cabalmente sua responsabilidade, e assim ser útil à Engenharia e à sociedade, em um sentido mais amplo, na medida em que não se descole de suas raízes disciplinares, o que significa exercitar e priorizar seu principal instrumento de trabalho, o **raciocínio geológico**. O que a fará sempre ter como ponto de partida a consciência de que qualquer ação humana sobre o meio fisiográfico interfere, não só limitadamente em **matéria pura**, mas significativamente em **matéria em movimento**, ou seja, em **processos geológicos**, sejam eles menos ou mais perceptíveis, sejam eles mecânicos, físico-químicos ou de qualquer outra natureza, estejam eles temporariamente contidos ou em pleno desenvolvimento².

² Para eventuais aprofundamentos no estudo e no entendimento da Geologia de Engenharia, são indicados os livros *Geologia de Engenharia*, publicado pela ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998) e *Geologia de Engenharia: Conceitos, Método e Prática* (Autor: Alvaro Rodrigues dos Santos) 3ª edição, Editora Rudder, 2017.

SERRA DO MAR: CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

A região geográfica definida como Serra do Mar, que se estende acompanhando o litoral sudeste brasileiro desde o norte do Estado do Rio de Janeiro até o Estado de Santa Catarina, exibe singulares e bem diferenciadas características fisiográficas, mantendo-as, com pouquíssimas e pequenas variações locais, ao longo de toda a sua extensão. A Serra do Mar constitui uma expressão fisiográfica inteiramente desenvolvida em território brasileiro. De forma concisa, são descritas a seguir suas principais características:

- Definição
- Geologia
- Geomorfologia
- Clima
- Vegetação
- Solos e depósitos coluvionares
- Movimentos de massa (deslizamentos)



Espetacular imagem aérea da região definida pela Baixada Santista e o Planalto do Piratininga. Notar as diferentes feições do relevo e como as diversas transposições viárias delas se aproveitaram para a definição de seus traçados no trecho de serra. Notar também a flagrante diferença geomorfológica entre a vertente norte (mais desmanchada em espigões) e a vertente sul (mais abrupta) dos vales dos rios Cubatão e Mogi, como consequência dos eventos tectônicos da Falha de Cubatão e suas decorrências estruturais e litológicas. 1 Rodovia dos Imigrantes; 2 Interligação; 3 Via Anchieta; 4 Caminho do Mar; 5 Vale do rio Mogi; 6 E.F. Santos-Jundiá; 7 Vale do rio Cubatão; 8 E.F. Sorocabana; 9 Piaçaguera; 10 São Vicente; 11 Santos; 12 Cubatão (Foto TM/Landsat, 1997, Arquivo IPT)

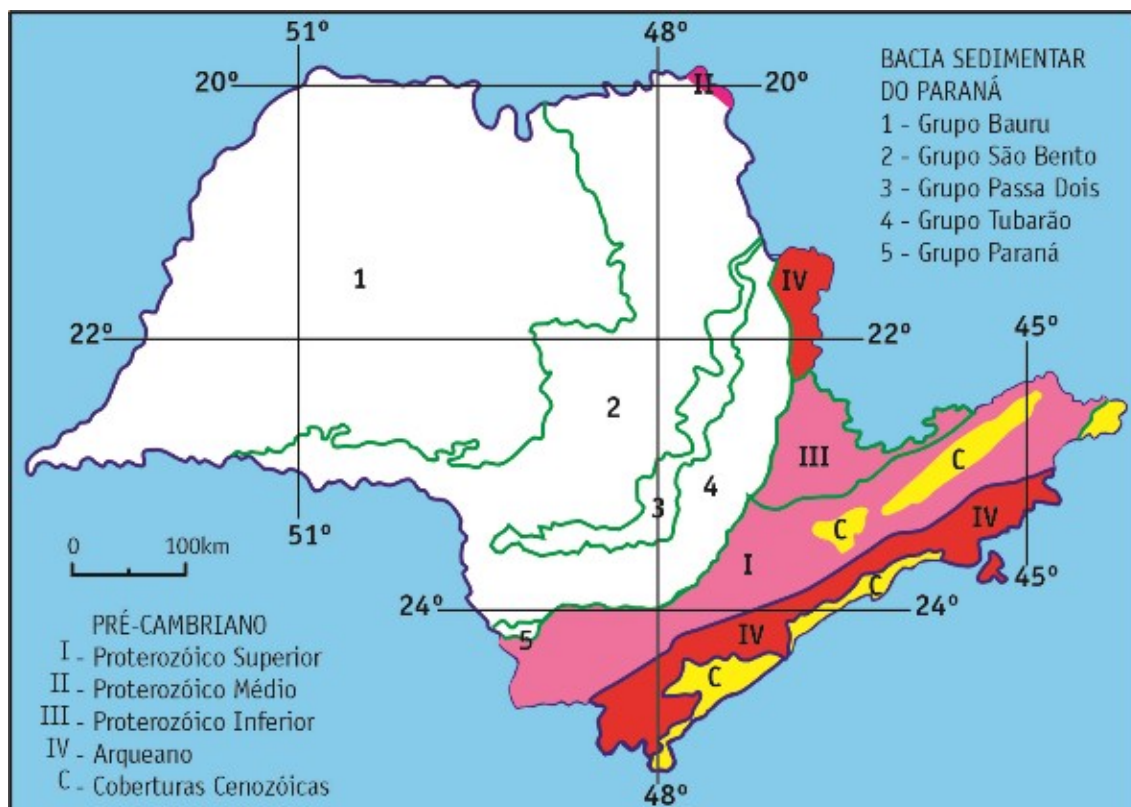
DEFINIÇÃO

A Serra do Mar corresponde à escarpa montanhosa da borda oriental do Planalto Atlântico, acompanhando as direções geográficas e estruturais SW/NE do litoral sudeste brasileiro, vencendo desníveis médios de 1.000 metros em larguras entre 5 e 10 quilômetros, e estendendo-se por cerca de 1.000 quilômetros do Estado do Rio de Janeiro ao Estado de Santa Catarina.

GEOLOGIA

A Serra do Mar, no Estado de São Paulo, compreende rochas de duas grandes províncias geológicas. Ao sul do Lineamento da Falha de Cubatão predominam rochas metamórficas mais antigas, do Arqueano, pertencentes ao Complexo Costeiro. Ao norte deste Lineamento predominam rochas metamórficas mais recentes, do Proterozóico Superior, pertencentes ao Grupo Açungui.

Em ambas as províncias geológicas as rochas mais freqüentes, apresentam grandes variações petrográficas, são os migmatitos, os gnaisses e os xistos. Com expressão média também ocorrem corpos granitóides, quartzitos, filitos, rochas metacarbonáticas, intrusões graníticas e diques de diabásio.



Esboço geológico do Estado de São Paulo (adapt. IPT)

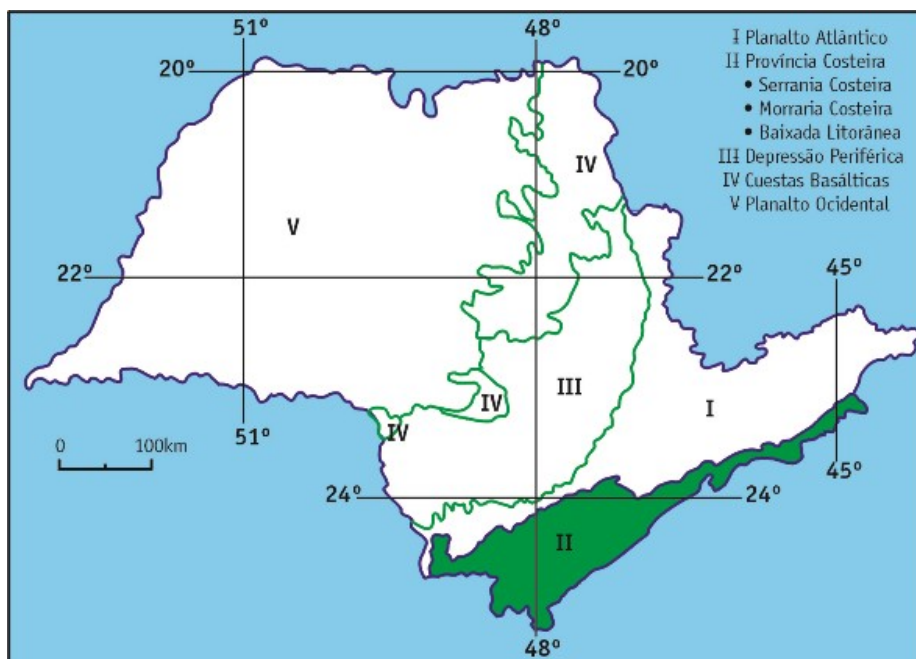
GEOMORFOLOGIA

A Serra do Mar se inclui dentro da Província Costeira do Estado de São Paulo, a qual é representada pela área do Estado drenada diretamente para o Atlântico, constituindo o rebordo oriental do Planalto Atlântico.

A Província Costeira subdivide-se em três zonas: Serrania Costeira, Morraria Costeira e Baixadas Litorâneas.

A Serra do Mar corresponde, assim, à escarpa montanhosa de transição entre a borda do Planalto Atlântico e as Baixadas Litorâneas. É uma escarpa que se apresenta ora abrupta e festonada, ora em espigões lineares digitados.

A partir especialmente da Baixada Santista para o sul, a Serra se distancia do litoral, dando lugar a extensas ampliações da Baixada Litorânea. Das cercanias de Peruíbe até os limites com o Estado do Paraná perde sua condição de escarpa abrupta por força da ação de dessecamento erosivo promovida pelos rios da bacia do Ribeira de Iguape, voltando a defrontar diretamente o mar no Estado do Paraná.



Esboço geomorfológico do Estado de São Paulo (adapt. IPT)

CLIMA

As condições climáticas predominantes nas encostas da Serra do Mar integram as características macroclimáticas da Baixada Santista, quais sejam, aquelas definidas por um clima tropical quente e úmido.

Os maiores índices pluviométricos são registrados nas cotas mais altas da Serra (médias anuais em torno de 4.000 mm), e os menores, no sopé da escarpa (médias anuais em torno de 2.500 mm). A maior precipitação pluviométrica (70%) está concentrada nos meses de verão — janeiro, fevereiro e março. No inverno — junho, julho e agosto — ocorrem as menores médias pluviométricas do ano. A alta pluviosidade regional está

nitidamente associada ao condicionamento orográfico: a grande umidade trazida por ventos que vêm do oceano condensa-se em forma de chuvas e neblina quando, ao encontrar a barreira da Serra, é alçada a altitudes onde o ar é mais frio.

Na Serra as temperaturas médias anuais ocupam uma faixa em torno de 19°C, com valores nitidamente crescentes da borda do Planalto para o sopé da escarpa.

VEGETAÇÃO

A floresta tropical úmida que caracteriza a Mata Atlântica nos domínios da Serra do Mar é cientificamente denominada Floresta Ombrófila Densa ou Floresta Atlântica de Encostas. Essa floresta ocorre essencialmente sobre relevo montanhoso, no intervalo compreendido entre os limites das florestas baixo-montana e montana, ou seja, entre 50 e 1.500 metros de altitude.

Destacam-se como principais características da Floresta Atlântica de Encostas:

- grande diversidade florística
- grande endemismo de espécies
- árvores maiores atingindo até 25 a 30 metros de altura
- corpo florestal denso com copas contíguas
- ambiente interno sombreado, abafado e úmido
- espessa serapilheira (manto de restos vegetais que recobre o solo)
- interior florestal rico em samambaias, lianas e epífitas como bromélias e orquídeas
- enraizamento superficial e subsuperficial intenso e denso



Aspecto típico da Floresta Atlântica de Encostas na Serra do Mar. Notar a forma exuberante e compacta com que a floresta recobre toda a extensão do terreno. O papel da floresta na proteção das encostas contra escorregamentos será detalhado mais à frente. (Foto Arquivo Dersa)

SOLOS E DEPÓSITOS COLUVIONARES

Refletindo os mecanismos naturais de sua evolução, o pacote de solos das encostas da Serra do Mar, portanto de relevo acidentado, é pouco desenvolvido, ao contrário dos morros e colinas do Planalto, onde esse pacote pode chegar a dezenas de metros. Nas encostas, as maiores espessuras estão nas cristas dos espigões (expressão convexa do relevo) e nas “saías” das encostas já próximas ao talvegue (expressão côncava do relevo). As menores espessuras estão no trecho da vertente, normalmente retilíneo, que faz a ligação entre a crista e a “saia”.

A constituição e as espessuras médias dos diferentes horizontes de solo são bastante variáveis, respondendo não só ao posicionamento na encosta, como à inclinação da vertente, ao histórico de movimentos de massa no local, à pluviosidade, ao tipo, textura e estrutura da rocha matriz.

Do ponto de vista pedológico, predominam os cambissolos, com horizonte B delgado e pouco evoluído pedologicamente, de textura argilosa a areno-argilosa.

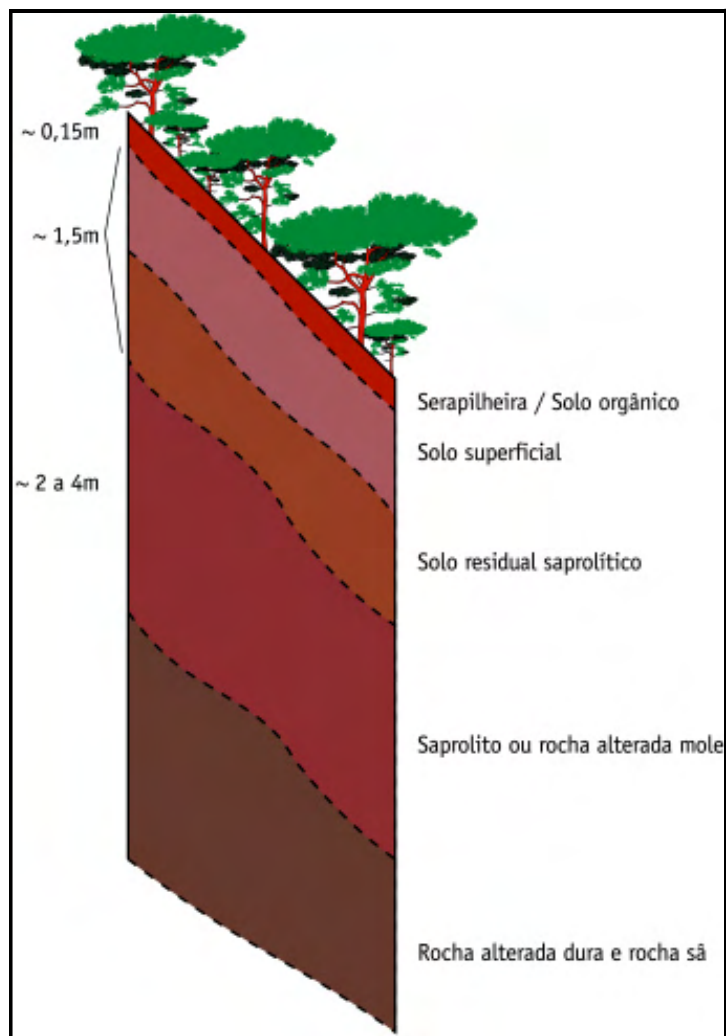
Do ponto de vista da Geologia da Engenharia, são distinguidos os seguintes horizontes nas encostas abruptas da Serra do Mar:

Solo superficial: constitui o horizonte superficial logo abaixo da serapilheira e do solo orgânico. Sua espessura na vertente retilínea varia entre 0,5 e 1 metro. Pode ser formado por um sub-horizonte superior transportado e por um horizonte residual, ou seja, resultante do intemperismo sobre o maciço original sotoposto. Os solos superficiais apresentam intemperismo e pedogênese mais intensos e, portanto, uma maior expressão da fração argilosa, **sendo por isso mais coesivos**. Normalmente apresenta alguns fragmentos de rocha imersos na matriz de finos. É escavável por enxadão.

Solo saprolítico ou solo de alteração de rocha: trata-se de um horizonte de solos resultante da atividade intempérica química sobre a rocha matriz, praticamente não submetido a processo pedogenético. Apresenta **nítidos** vestígios texturais da rocha matriz. Normalmente são silto-arenosos ou areno-siltosos, com fragmentos de rocha e pouca argila. Tem espessura bastante variável, mas nas encostas retilíneas acima de 30° predominam aquelas em torno de 1 metro. É escavável por enxadão.

Saprolito ou rocha alterada mole: constitui um horizonte rochoso intemperizado basicamente formado por blocos de rocha de vários tamanhos separados por discontinuidades estruturais (diaclases, fraturas) e por zonas mineralógicas com maior grau de alteração. Há situações onde o saprolito pode apresentar-se mais contínuo com um número menor de discontinuidades. Nas encostas da Serra a espessura do saprolito é também bastante variável, podendo apresentar-se dentro de uma faixa de um a vários metros. É escavável por picareta e fogacho.

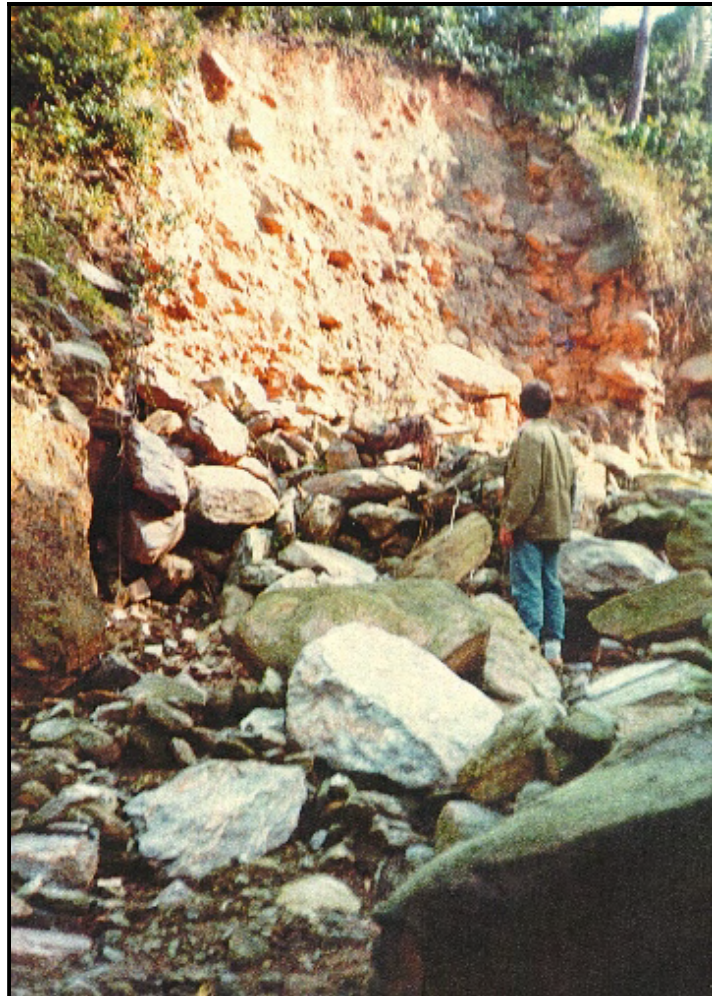
Rocha alterada dura e rocha sã: trata-se já do maciço rochoso pouco ou nada alterado pelo intemperismo. Escavável unicamente por explosivos.



Perfil típico esquemático de solos em encosta retilínea de um espigão da Serra do Mar
 Ao contrário dos morros do Planalto, onde os horizontes de solos atingem profundidades de dezenas de metros, nas encostas da Serra esses horizontes são bastante delgados, especialmente ao longo das encostas retilíneas de maior inclinação. É bastante comum, mesmo nos horizontes mais superficiais, a presença de blocos de rocha centimétricos a decimétricos. As espessuras apresentadas esquematicamente são na realidade muito variáveis, dependendo especialmente da composição mineralógica da rocha, de seu grau de fraturamento e das condições locais de percolação da água meteórica.

Solos coluvionares e corpos de tálus: a movimentação dos horizontes superficiais de solos por rastejo, escorregamentos ou erosão, tanto a que ocorre nos tempos atuais como a ocorrida em tempos geológicos pretéritos, proporciona a formação de camadas superficiais de solos coluvionares de meia encosta, normalmente associados à “saia” da vertente (parte baixa da vertente, com menor declividade), e depósitos coluvionares mais espessos, denominados corpos de tálus, que se alojam em anfiteatros com topografia mais suavizada. Os corpos coluvionares de meia encosta normalmente apresentam espessuras em torno de 1 metro e têm composição argilo-silto-arenosa com presença de fragmentos de rocha. Os

corpos de tálus podem atingir espessuras de algumas dezenas de metros, sendo invariavelmente constituídos de uma matriz argilo-silto-arenosa que envolve número considerável de fragmentos e blocos de rocha decimétricos. É bastante comum os corpos de tálus apresentarem um lençol d'água próprio suspenso.



Talude de corte mostrando a composição típica de um corpo de tálus: blocos de rocha subarredondados imersos em uma matriz silto-areno-argilosa. (Foto IPT-DEC)

MOVIMENTOS DE MASSA (DESLIZAMENTOS)

As encostas da Serra do Mar são conhecidas por sua suscetibilidade natural a movimentos de massa (popularmente conhecidos como “desmoronamentos” e “queda de barreiras”) de diversos tipos. Essas movimentações de solos e blocos de rocha devem-se à combinação de fatores ligados ao relevo (declividade das encostas), à pluviosidade e aos diversos materiais e características geológicas envolvidas. Via de regra a ação do homem, através de desmatamentos e cortes nas encostas, induz a ocorrência de movimentos de massa, no caso, não naturais. No capítulo seguinte, esse tema será detalhado e discutido em profundidade.

Deslizamentos e Escorregamentos

Cumpramos esclarecer que do ponto de vista terminológico e fenomenológico os termos **deslizamento** e **escorregamento** são considerados sinônimos. Ambas as terminologias são utilizadas ao longo do livro.



Foto mostrando inúmeros deslizamentos ocorridos nas encostas do Vale do Rio Mogi no ano de 1985. Esse evento foi associado aos problemas ocorridos com a vegetação por consequência da poluição do Pólo Industrial de Cubatão. (Foto Arquivo IPT)

ORIGEM GEOLÓGICA E DINÂMICA EVOLUTIVA DA SERRA DO MAR: O AVANÇO DOS CONHECIMENTOS

“Nas Ciências Naturais, e na Geologia em especial, o primeiro e essencial passo está em descobrirmos e assimilarmos as leis básicas da Natureza. Isso feito, as cortinas se abrem e a compreensão dos fenômenos naturais ou induzidos pelo Homem surge clara à nossa frente.” (Álvaro Rodrigues dos Santos)

*“Os cientistas ainda não parecem entender suficientemente que todas as ciências da Terra devem trazer evidências para o desvendamento do estado de nosso planeta nos tempos primordiais, e que a verdade desta questão só pode ser alcançada pela integração de todas essas evidências. Será apenas pela integração das informações fornecidas por todas as ciências da Terra que nós poderemos esperar chegar à verdade, ou seja, achar a imagem que reproduza todos os fatos conhecidos no melhor arranjo possível, e que, então, apresente o maior grau de probabilidade. Além do que nós temos que estar sempre preparados para a possibilidade de que cada nova descoberta, não importa que ciência a traga, pode modificar as conclusões que nós já tenhamos inferido.” (Alfred Wegener [1880-1930], em *As origens de continentes e oceanos*)*

O esforço científico para a compreensão da evolução das encostas da Serra do Mar e dos fenômenos geológico-geotécnicos por elas apresentados é bastante antigo. No entanto, não têm sido comuns os trabalhos voltados à integração e à correlação de dados oferecidos por diferentes disciplinas, prevalecendo a estanqueidade de abordagens com suas flagrantes limitações.

Por certo, cabe especialmente à Geologia de Engenharia a responsabilidade técnica maior por essa integração, retirando-lhe as conclusões práticas e avançadas a serem observadas por todas as ações humanas que de alguma forma possam interferir no equilíbrio natural das encostas.

São consideradas a seguir as contribuições oferecidas pela Geologia, pela Geomorfologia, pela Engenharia Geotécnica e pela própria Geologia de Engenharia.

Sem dúvida, a integração e a sistematização dessas contribuições revelam um adiantado estágio de compreensão da Dinâmica Externa da Serra do Mar, o que coloca a tecnologia brasileira em destacada posição no tratamento tecnológico de regiões serranas tropicais úmidas.

Não é interesse desta publicação discorrer sobre um histórico completo da evolução dessas diferentes contribuições. O objetivo maior é reunir o que de mais significativo e atual está disposto por cada uma delas e estabelecer as sistematizações e conclusões que o autor entende como válidas. Vale acrescentar mais uma vez que a atenção maior do autor dirigiu-se a trabalhos que tiveram o trecho paulista da Serra do Mar como foco principal de atenção.

No que se refere aos conhecimentos aportados pela Geologia de Engenharia, é importante ressaltar que algumas informações e afirmações registradas refletem a experiência e opiniões do autor, não se podendo considerá-las, portanto, como incondicionalmente aceitas por todos os profissionais da área.

| APORTE DOS | SIGNIFICADO |
|-------------------------|--|
| GEÓLOGOS | Textos voltados especialmente à interpretação da origem geológica e da evolução da orogenia da Serra do Mar. |
| GEOMORFÓLOGOS | Textos fundamentais para a identificação dos processos de dinâmica superficial responsáveis pela conformação do relevo e das formações colúviais e aluviais presentes na Serra. |
| ENGENHEIROS GEOTÉCNICOS | Textos preocupados com o equacionamento físico e matemático dos escorregamentos, segundo referenciais e modelos analíticos da Mecânica dos Solos. |
| GEÓLOGOS DE ENGENHARIA | Especialmente a partir dos anos 70, textos voltados ao entendimento da dinâmica dos escorregamentos naturais e induzidos, preocupados em responder quando, onde e como esses fenômenos ocorrem. |

Aporte de conhecimentos: significado para a compreensão da Dinâmica Externa da Serra do Mar

GEOLOGIA

A explicação da origem da escarpa da Serra do Mar colocou-se desde há muito como um intrincado desafio aos geólogos brasileiros.

Sua feição escarpada e a direção geográfica consistente com as direções geológicas estruturais regionais suscitaram desde cedo e insistentemente a hipótese de movimentos tectônicos recentes exatamente em sua atual posição geográfica. Hipóteses acerca da ocorrência local de grandes dobramentos e de uma estrutura geossinclinal também já foram defendidas.

Mais recentemente, diante de evidências geológicas continentais e da Bacia de Santos, ganhou consistência a hipótese pela qual a atual escarpa é resultado do recuo erosivo de uma antiga escarpa de falha manifestada a dezenas de quilômetros a leste da atual posição da escarpa da Serra do Mar.

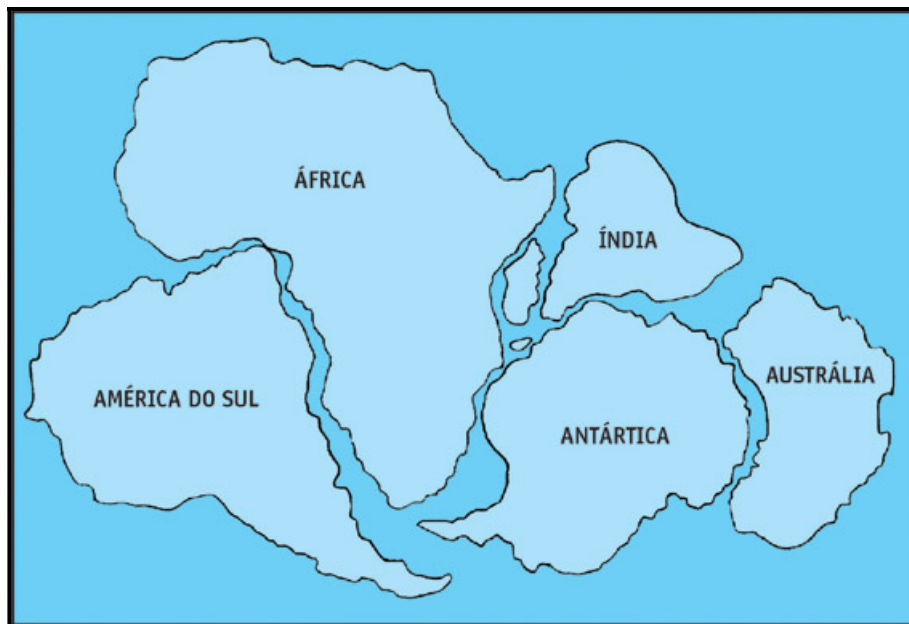
Tese: *A atual Serra do Mar é originada por regressão erosiva de escarpa formada tectonicamente no Paleoceno a dezenas de quilômetros da linha de costa atual. Não estando, portanto, relacionada a falhamentos antigos ou recentes em sua posição atual.*
(com base em FFMA)

Segundo o eminente geólogo brasileiro Fernando Flávio Marques de Almeida, em trabalho publicado com a cooperação do geólogo Celso Dal Ré Carneiro, a origem da Serra do Mar pode ser explicada, de acordo com essa hipótese, pela seguinte seqüência evolutiva:

Etapas da evolução geológica da Serra do Mar

I — Contexto da Deriva Continental: espaço geológico em distensão. **Jurássico (208 milhões de anos):** Fragmentação da Pangea, originando Laurásia, ao norte, e Gondwana, ao sul.

Cretáceo (146 milhões de anos): Fragmentação da Gondwana e início da Deriva Continental com o afastamento entre África e América do Sul. Portanto, o processo geológico de formação da Serra do Mar dá-se em um espaço geológico Atlântico em distensão, sem esforços compressoriais.



Fragmentação do grande continente da Gondwana

Ao final da era Paleozóica (algo próximo a 250 milhões de anos atrás), as terras emersas do planeta estavam reunidas no grande continente chamado PANGEA. No período Jurássico (iniciado há 208 milhões de anos atrás), o PANGEA se fragmenta originando ao norte o grande continente da LAURÁSIA — formado pelos continentes que hoje compõem o hemisfério norte do planeta — e ao sul o grande continente da GONDWANA — formado pelos continentes que hoje compõem o hemisfério sul.

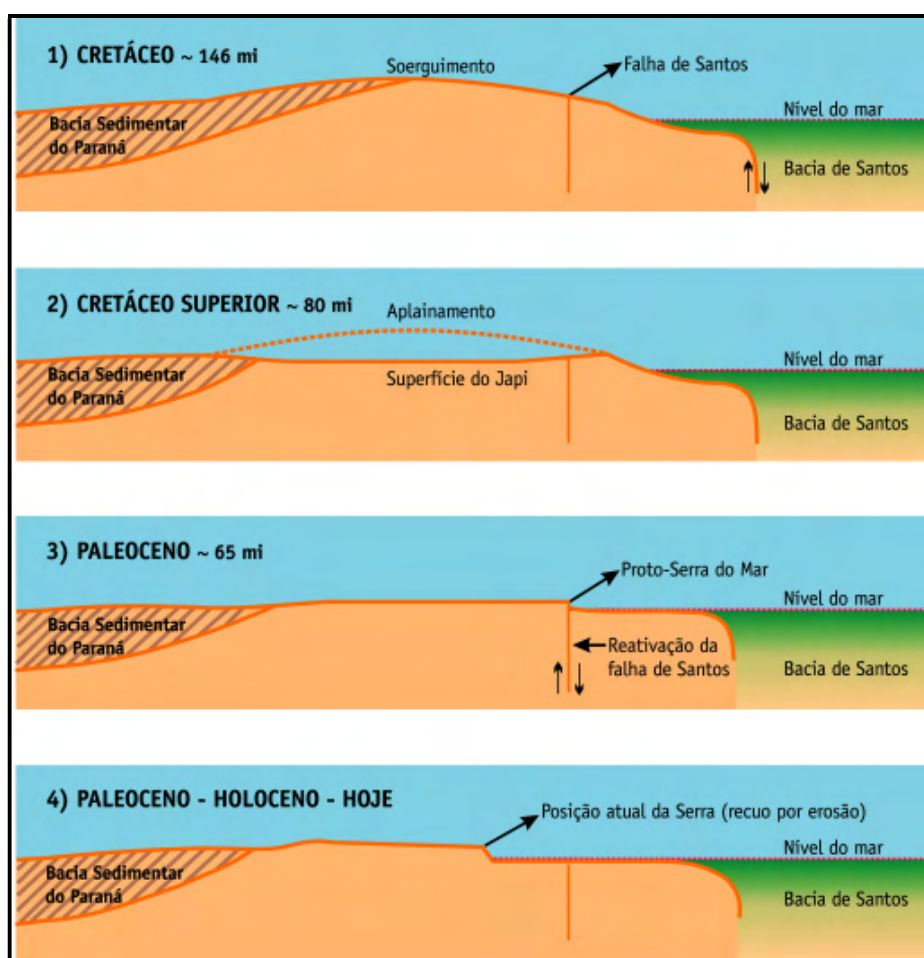
Ao final do Jurássico e início do Cretáceo (146 milhões de anos atrás), dá-se a fragmentação final da GONDWANA e o início da deriva continental, ou seja, da separação dos continentes como hoje os conhecemos. Forma-se entre a América do Sul e a África o Oceano Atlântico. É durante esse processo de deriva continental que se dão os principais fenômenos que deram origem à Serra do Mar na margem sudeste ocidental brasileira. É importante considerar, portanto, que ela se forma em um espaço “em distensão” e não “em compressão”, como foi mais comum na formação de várias cadeias montanhosas do planeta.

II — Cretáceo inferior (período iniciado há cerca de 150 milhões de anos): Soerguimento da faixa ocidental sudeste brasileira.

III — Cretáceo Superior: Desbaste erosivo da faixa soerguida e desenvolvimento da Superfície de Aplainamento do Japi, com fornecimento de material para a Formação Santos (Bacia de Santos) a leste e para o Grupo Bauru (Bacia Sedimentar do Paraná) a oeste.

IV — Paleoceno (65 milhões de anos): Amplo evento tectônico dá origem às Bacias Terciárias de São Paulo e Taubaté/Tremembé, à Serra da Mantiqueira e provoca o soerguimento do bloco ocidental da Falha de Santos e abatimento do bloco oriental, com formação de uma Proto-Serra do Mar a dezenas de quilômetros a leste da linha de costa atual.

V — Paleoceno – hoje: Recuo erosivo da escarpa da Serra do Mar até sua posição atual.



Seqüência esquemática da origem geológica da Serra do Mar (Adapt. Fernando F. M. de Almeida e Celso D. R. Carneiro)

Diferentemente do que pareceu por muito tempo, a Serra do Mar não teve origem em sua posição atual. Essa posição foi alcançada por meio do recuo erosivo de um degrau tectônico formado por reativação da Falha de Santos a dezenas de quilômetros a leste, quando de grandes eventos tectônicos do Paleoceno (cerca de 65 milhões de anos atrás).

GEOMORFOLOGIA

Os geomorfólogos foram os cientistas que mais cedo se aperceberam de aspectos cronológicos e funcionais fundamentais para o entendimento da evolução morfológica das encostas da Serra do Mar. Esses aspectos envolveram especialmente a consideração das variações paleoclimáticas e do papel protetor desempenhado pela cobertura florestal plena.

Ao avaliar a extensão, o posicionamento e a composição de depósitos detríticos de meia encosta e de leques de dejeção de clásticos no sopé da Serra, e em que pese a ocorrência periódica de escorregamentos naturais mesmo com a proteção florestal intacta, concluíram que as grandes movimentações de solos e rochas que deram origem a esses depósitos só poderiam ter acontecido em situações de empobrecimento radical da proteção florestal. Por sua vez, essa decadência da proteção vegetal teria se dado como resultado de alterações climáticas severas, com grande resfriamento da temperatura. Com o fenecimento da floresta, os solos anteriormente produzidos e sustentados em clima úmido e quente ficariam expostos a chuvas torrenciais concentradas e seriam mobilizados encostas abaixo.

A Floresta Atlântica de Encostas da Serra do Mar é considerada uma das mais antigas formações florestais do Brasil, sendo que vários autores a relacionam ainda ao período Cretáceo (65 milhões de anos atrás).

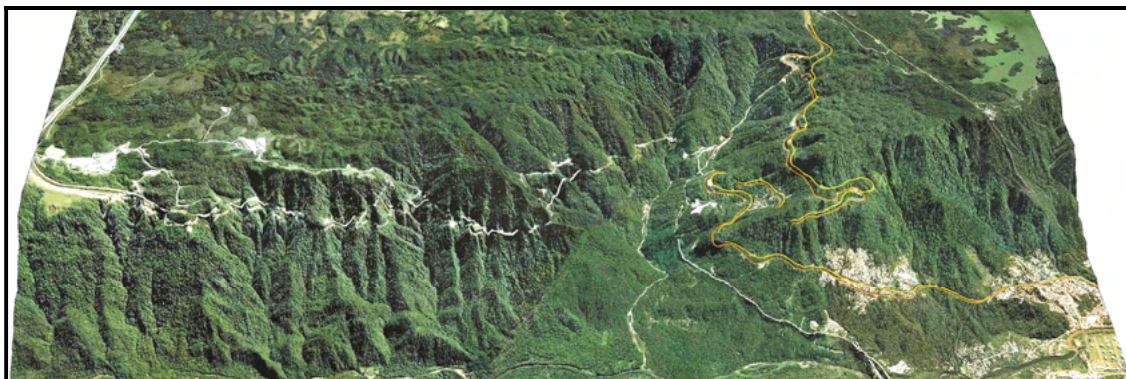
No entanto, extremamente suscetível a variações climáticas, que determinam tanto os movimentos de expansão e retração da floresta, como a própria composição florística em seu interior, a cobertura florestal da Serra do Mar tem sofrido intensas alterações ao longo do tempo geológico, em decorrência exatamente das variações climáticas então verificadas. Essas variações climáticas ocorrem gradualmente, mais lentamente em escalas de milhões de anos, ou mais rapidamente em escalas de milhares de anos.

Como exemplo, apenas no decorrer do Quaternário (período iniciado há 1,64 milhão de anos) várias foram as alterações climáticas que interferiram comprovadamente na Floresta Atlântica. Há cerca de 18.000 anos, sob o ápice de um clima frio e seco, a floresta reduziu-se a limitados “refúgios”, focos de sua futura expansão e recuperação quando do aquecimento e umedecimento climáticos que se seguiram. Mais à frente, há cerca de 11 mil anos, praticamente no início do Holoceno e em novo período glacial, o nível do mar encontrava-se a quase 100 metros abaixo do atual. Em novo pico quente e úmido, há aproximadamente 5.100 anos, esse nível se encontrava perto de 5 metros acima do atual. Obviamente, é de imaginar as enormes variações de intensidade que ocorreram, ao longo do tempo geológico, nos processos de produção/acumulação de solos e de sua remoção nas encostas da Serra do Mar.

Como conclusão dessas observações, em que pese sua suscetibilidade a deslizamentos, sabe-se que, frente às atuais condições climáticas, as encostas da Serra do Mar, com sua fantástica cobertura florestal protetora, apresentam hoje um quadro de processos erosivos superficiais relativamente contidos.

Adicionalmente, os geomorfólogos desde há muito associaram a ocorrência de escorregamentos naturais à combinação de um conjunto de fatores, donde se destacam forma e inclinação de vertentes, estado de amadurecimento dos solos superficiais, geologia e pluviometria. Os estudos levados a efeito pela geomorfóloga Olga Cruz, desde 1974, sobre as relações entre a morfogênese das encostas e os catastróficos escorregamentos de Caraguatatuba-SP no ano de 1967, destacam-se entre as colaborações mais avançadas e consistentes para a compreensão da Dinâmica Externa da Serra do Mar.

Infelizmente, à época da exposição dessa magnífica contribuição dos geomorfólogos, a Geologia de Engenharia brasileira estava em sua fase inicial, ainda excessivamente influenciada pelos paradigmas parametrizadores da Engenharia e, assim, pouco afeita à pesquisa e ao entendimento dos processos geológicos e de suas dinâmicas. Houvesse já àquela época a Geologia de Engenharia brasileira levado em conta a colaboração dos geomorfólogos e certamente sua importantíssima contribuição para a correta concepção e implantação de empreendimentos na Serra do Mar teria se dado há mais tempo e, portanto, muitos problemas já então poderiam ter sido evitados.



Montagem digital produzida por técnicos do IPT mostrando a vertente esquerda do Vale do Rio Cubatão. Notar a Rodovia dos Imigrantes (em branco) iniciando a descida da Serra já aproveitando essa mesma vertente, e a Via Anchieta (em amarelo), que optou descer diretamente pelo vale afluente do Rio Pilões. Notar no último trecho de descida da Via Anchieta os famosos Bairros Cota, hoje verdadeiras cidades, mas originários das moradias de operários que trabalharam na abertura da estrada. À direita e acima, trecho do Reservatório do Rio das Pedras, pertencente ao sistema Billings de produção de energia elétrica na Usina Henry Borden. A imagem evidencia também a presença dos espigões como morfologia de relevo característica da escarpa da Serra do Mar nessa região. Com o recuo erosivo da Serra, várias drenagens que antes corriam para o interior foram sendo “capturadas”, passando a verter suas águas para a frente oceânica. Tudo indica que esse tenha sido o caso também do Rio Pilões. (Foto Arquivo IPT)

Seguem alguns trechos significativos de trabalhos elaborados pelos geomorfólogos:

“O Rio das Pedras, pequena torrente obsequente que secciona a Serra de Cubatão, apresenta em seu baixo vale, no contato com o fundo da planície costeira, um espesso depósito de piemonte detrítico, na forma clássica dos “cones de dejeção”... Trata-se de um esparramado leque aluvial de alguns milhares de metros quadrados... composto quase exclusivamente por seixos de gnaisses e xistos, cujo diâmetro varia entre 5 e 25 cm em média.

Os que primeiramente tiveram sua atenção voltada para esse importante depósito de piemonte, foram os professores Jean Tricart e André Cailleux, que reconheceram no cone de dejeção do Rio das Pedras um testemunho de sedimentação torrencial, inteiramente anômalo em relação aos sistemas morfoclimáticos vigentes atualmente ao longo da Serra do Mar... Julgamos inteiramente procedentes as observações de Tricart a respeito do valor

paleoclimático de tais depósitos rudáceos.” (Aziz N. Ab’Saber – 1965, “A Evolução Geomorfológica”, *A Baixada Santista – Aspectos Geográficos*, EDUSP)

“Quando um regolito espesso, em avançado estado de alteração química, perde a proteção da cobertura vegetal e fica exposto a fortes chuvas concentradas, transforma-se em uma corrida de lama (mud-flow), a qual arrasta todos os detritos que encontra à sua frente.” (Bigarella e Mousinho, 1965, “Significado Paleogeográfico e Paleoclimático dos Depósitos Rudáceos”, *Boletim Paranaense de Geografia* n° 16/17, p. 14)

“O fim da última flutuação seca dentro da fase úmida atual ocorreu há cerca de 2.400 anos. Naquela época a vegetação estaria aberta, os solos mais desprotegidos e as precipitações desigualmente distribuídas e bem concentradas. O regolito elaborado durante as fases úmidas plenas era, durante as flutuações para o seco, excessivamente encharcado de água pelas chuvas torrenciais. Como resultado ocorreriam os movimentos de massa, mesmo em declives fracos.” (Mousinho e Bigarella, 1965, “Movimentos de Massa no Transporte dos Detritos de Meteorização das Rochas”, *Boletim Paranaense de Geografia* n° 16/17, p. 57)

“Três principais grupos de processos naturais atuam nos taludes dessas áreas tropicais úmidas (Serra do Mar): (i) intemperismo-pedogênese, formando espessos mantos de alteração retrabalhados (ii) por escoamentos (água) de superfície e sub-superfície e cursos d’água, e por (iii) movimentos de massa, especialmente em taludes escarpados, como os da Serra do Mar e Serra da Mantiqueira, no sudeste, e da Serra Geral, no Sul. Tais processos naturais variam de acordo com o posicionamento geográfico, a declividade, extensão e comprimento das escarpas, assim como com sua natureza geológica, com a espessura dos horizontes de alteração e com as condições climáticas.” (Cruz, Olga, 2000, *Studies on the geomorphic processes of overland flow and mass movements in the brazilian geomorphology*. *Revista Brasileira de Geociências*, 30(9) 504-507)

Ainda que por curiosidade, vale a pena reproduzir aqui trecho do escritor Júlio Ribeiro, em seu polêmico romance *A Carne*. Mesmo sem uma formação científica, o autor sugere, com impressionante propriedade, a dinâmica evolutiva da Serra do Mar e da Baixada Litorânea.

“Os pontos descobertos constituem ilhas, algumas elevadíssimas: as Queimadas, os Alcatrazes, o Monte de Trigo são saliências do contraforte externo; a ilha do Enguá-Guaçu ou de Santos, a do Guaíba ou de Santo Amaro, a da Moela, a encantadora ilhota das Palmas, são os picos do arrecife interno.

E que serão esses parcéis, essas duas cintas de rochas, senão o aparecimento, as primeiras prostrações, ainda marinhas, da Serra do Mar, chamada aqui Serra do Cubatão, Serra de Paranapiacaba. A cordilheira vem dos abismos do oceano, surge, emerge, levanta-se abrupta, fecha o horizonte com seus visos alterosos, que lá se enxergam ao fundo, cobertos de nuvens, a entestar com o céu, como barbaças, como muralhas de um castelo titânico.

Meditemos um pouco; reconstrua o raciocínio o que o homem não pode ver no espaço breve de sua vida curta.

O mar outrora banhava a raiz da serra, e os ventos do largo, encanados pelas bocainas, suscitavam maretas temerosas na planície onde hoje corre, arfando, a locomotiva.

As aluviões, os enxurros da cordilheira, grossos de terra, rolando seixos enormes, em luta com a força das marés que se encrespavam em macaréus, foram depositando sedimentos, detritos, em torno dos cúcleos penhascosos do Guaíbe e do Monserrate. No volver de milhares de séculos o fundo alteou-se, emergiu as ondas, constituiu as vastas planuras do sopé da serrania. Vasas moles ao princípio, lamarões, brejos marinhos, essas planícies foram-se cobrindo de mangues verdes, de siruvas e, depois, de outras vegetações mais alentadas: formaram terrenos sólidos, cortados de muitos esteiros.

A planície santista, bem como toda a planície da costa brasileira, é uma conquista da Cordilheira.

E essa conquista continua ainda, continuará indefinidamente, de dia, de noite, a todas as horas, a todos os momentos; lenta, imperceptível mas interminável, incessante; não há tréguas na luta entre a terra e o mar.”

ENGENHARIA GEOTÉCNICA

Especialmente a partir da década de 40, os engenheiros geotécnicos passaram a dedicar especial atenção aos grandes escorregamentos na Serra do Mar, que desafiavam a capacidade da engenharia nacional em enfrentá-los.

Pode-se dizer que foram os escorregamentos em corpos de talus aqueles que inicialmente mais contaram com a assistência da engenharia geotécnica. Em 1947, Terzaghi esteve no Brasil, a chamado da Cia Light and Power, para estudar e propor as medidas de estabilização de uma ruptura em um corpo de talus que havia sido escavado para ampliação da Casa de Força da Usina Hidrelétrica de Cubatão, existente no sopé da Serra. Em 1948, Nogami e Rodrigues estudam um escorregamento em talus ocorrido na cota 95 da pista ascendente da Via Anchieta, propondo, tal como Terzaghi, drenagens profundas como diretriz central do projeto de estabilização. Uma série de trágicos e recorrentes escorregamentos ocorridos nos morros de Santos, na primeira metade do século XX, especialmente no Mont Serrat, atraiu em definitivo a atenção do Engenheiro Milton Vargas, que os estudou detalhadamente, assim como vários outros escorregamentos ocorridos em morros da Baixada. Os escorregamentos catastróficos de 1966 e 1967 nas encostas do Rio de Janeiro e de Caraguatatuba acabaram por suscitar a atenção de um maior número de engenheiros geotécnicos para os esforços de entendimento e tratamento desses fenômenos e de proposição de medidas para sua estabilização.

A partir de 1975, com os estudos de Morgenstern e Mattos, e mais adiante, de Wolle, Pedrosa, Abramento e Carvalho, os engenheiros geotécnicos dedicam especial atenção ao equacionamento físico-matemático dos escorregamentos translacionais rasos naturais, associando-os, de uma forma geral, à perda de resistência, por eliminação da coesão aparente dos solos superficiais, como consequência da ação de frentes de saturação de fluxo vertical. Carvalho, em sua dissertação de mestrado, salienta a importância da condutividade hidráulica dos solos superficiais como fator essencial na dinâmica dos escorregamentos translacionais. Da mesma forma, as corridas de lama que atingiram o Pólo Industrial de Cubatão sugeriram várias tentativas de equacionamento matemático do fenômeno e de implantação de medidas voltadas a minimizar seus efeitos destrutivos.

Os engenheiros geotécnicos sempre tiveram como preocupação maior o equacionamento físico-matemático dos escorregamentos, a partir da medição ou inferência dos parâmetros geotécnicos intervenientes — como coesão, atrito, condições de percolação

da água intersticial, condições geométricas dos taludes — e seu tratamento no âmbito das teorias, métodos e modelos de análise de estabilidade propostos por especialistas da Mecânica dos Solos. O fato de esses modelos exigirem, para a coerência de sua aplicação, hipóteses simplificadoras extremamente limitadoras, como, por exemplo, a homogeneidade física e espacial do maciço de solos considerado, fluxo vertical da água de saturação, umidade inicial e intensidade pluviométrica constantes, etc., tem atraído crescente preocupação ante os resultados de sua aplicação em condições naturais, em que, via de regra, a heterogeneidade aparece como marcante e sempre presente característica. Não é por outro motivo que os engenheiros geotécnicos colocam como seu presente e maior desafio justamente a adequação dos métodos de tratamento matemático à típica heterogeneidade apresentada pelas encostas da Serra do Mar.

A seguir são registradas algumas significativas afirmações de engenheiros geotécnicos relativas a seu entendimento sobre certos tipos de escorregamentos na Serra:

“Os escorregamentos dos mantos de alteração do alto dos morros, semelhantes ao do Mont Serrat (1928), não são de fácil previsão. Eles têm uma certa probabilidade de escorregar... após chuvas violentas no fim do período chuvoso; mas em que local isso irá ocorrer, numa dada eventualidade de chuva, será bem difícil de prever.” (Milton Vargas, 1999)

“Sobre escorregamentos de 1966 (jan./fev.) na Serra das Araras: “a chuva torrencial demoliu hidraulicamente a cobertura de solo das encostas... mantos de alteração deslizaram pela encosta abaixo num estado de liquefação completa do solo.” (Costa Nunes, 1969)

Sobre Caraguatatuba (1966 mar):

“Uma chuva de 211 mm/hora liquefez o manto do solo de alteração que recobria as encostas ao longo e nas cercanias da estrada de rodagem S. José dos Campos–Caraguatatuba... A esse tipo de escorregamento que se dá em zonas onde a chuva concentra-se e a precipitação é superior a dezenas de centímetros por hora, deu-se o nome de avalanches. A análise matemática de tais fenômenos ainda não foi feita. (Milton Vargas, 1999)

Sobre o mecanismo de escorregamentos planares:

“A condutividade hidráulica saturada (K_s) surge como o parâmetro de maior influência no avanço das frentes de saturação. Assim sendo, identifica-se que a determinação de valores representativos para esse parâmetro consiste no principal desafio associado ao estudo da infiltração nas encostas naturais da Serra do Mar, já que, de acordo com os resultados obtidos, os solos investigados apresentam um comportamento fundamentalmente heterogêneo.” (Carvalho, C. S., 1989)

“Basta a redução da resistência dos solos, inicialmente insaturados, devida à eliminação das pressões de sucção provocada pela infiltração (avanço de “frentes de saturação”), para explicar a ocorrência dos escorregamentos.” (Wolle, C. M. e Carvalho, C. S., 1989)

“Dada a heterogeneidade característica dos solos coluvionares superficiais da Serra do Mar, os esforços nesse sentido (aperfeiçoamentos na metodologia utilizada para a determinação da condutividade hidráulica saturada na velocidade de infiltração) devem direcionar-se para a definição de ensaios, de campo e laboratório, que permitam reproduzir mais fielmente as condições prevalecentes na natureza, e para a utilização, na análise da estabilidade de taludes, de modelos que incorporem a variação espacial da condutividade hidráulica na área em estudo.” (Carvalho, C. S., 1989)

GEOLOGIA DE ENGENHARIA

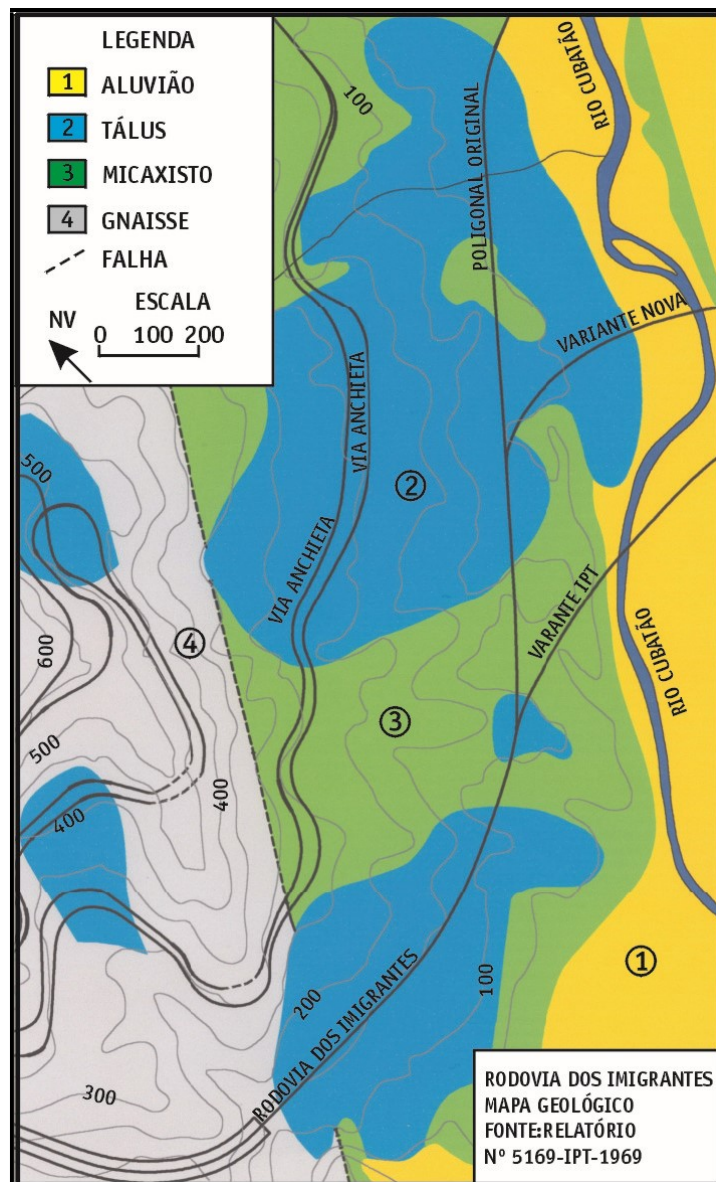
“A verdade em ciência pode ser definida como a hipótese de trabalho melhor adequada para abrir caminho para uma próxima hipótese que seja melhor.” (Konrad Lorenz)

É importante considerar que a Geologia de Engenharia brasileira veio a se consolidar como uma geociência aplicada bem recentemente, especialmente a partir da década de 60 quando da implantação de grandes obras de engenharia no país.

O primeiro maior contato da Geologia de Engenharia brasileira/paulista com a problemática geológico-geotécnica da Serra do Mar deu-se fundamentalmente por meio dos trabalhos realizados pelo IPT, sob contrato com o DER-SP, para caracterização de uma faixa de terreno que continha as futuras diretrizes de traçado da Rodovia dos Imigrantes. Esse trabalho foi realizado no fim da década de 60 e início da década de 70.

Nessa época a Geologia de Engenharia brasileira ainda revelava uma excessiva influência dos paradigmas da Engenharia Geotécnica e o trabalho desenvolvido pelo IPT foi marcado pela intenção de limitadamente caracterizar geotecnicamente os solos e demais materiais presentes, seus perfis de distribuição, seus índices físicos, assim como mapear os corpos de tálus, que configuravam, no entendimento amplo da época, os principais vilões geotécnicos da Serra.

Ou seja, naquela oportunidade nem o contratante (DER-SP) nem mesmo a equipe de geólogos do IPT estabeleceram como desafio central o entendimento da Dinâmica Externa da Serra, a identificação tipológica de seus movimentos de massa, a compreensão de sua evolução e dinâmica, para então concluir sobre qual seria a melhor filosofia de projeto e qual o melhor traçado para a futura rodovia.



Desenho mostrando o mapeamento de um corpo de tálus pelo IPT, quando de sua contratação ao final da década de 60 pelo DER-SP para caracterizar geológica e geotecnicamente uma faixa de terreno que receberia as pistas da Imigrantes na Serra. Notar a sugestão feita pelo IPT para mudança da diretriz de traçado original. O desenho foi retirado do livro do autor Geologia de Engenharia: Conceitos, Método e Prática, onde está reproduzido em caso de aplicação relatado pelo geólogo Luiz F. Vaz.

Essas questões mais próprias da Geologia de Engenharia só começaram a ser explicitadas a partir do início da década de 70 com a dedicação de alguns geólogos de engenharia ao melhor entendimento dos trágicos episódios de escorregamentos ocorridos ainda em 1966 e 1967 na Serra das Araras (RJ) e em Caraguatatuba (SP).

Em 1976 o autor do livro apresenta no 1º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia o trabalho “Por Menos Ensaios e Instrumentações e por uma Maior Observação da Natureza”, que marca definitiva e conceitualmente o movimento de aproximação

metodológica da Geologia de Engenharia com a Geologia, entendida então como sua ciência matriz.

Resultado especial dessa nova atitude da Geologia de Engenharia ante a problemática geológico-geotécnica da Serra do Mar foi o histórico trabalho de Guidicini e Iwasa, publicado pelo IPT em 1976, em que expõem a correlação entre chuvas e escorregamentos.

Outros trabalhos acabaram por consolidar definitivamente essa “guinada” da Geologia de Engenharia em atenção às suas responsabilidades disciplinares na explicação da gênese e evolução de fenômenos geológico-geotécnicos, como em 1976 o lançamento pelo IPT da publicação “Atuação da Cobertura Vegetal na Estabilidade de Encostas: Uma Resenha Crítica”; ainda em 1976, a apresentação por Fúlfaro e Ponçano e outros, no 1º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, do trabalho “Escorregamentos de Caraguatatuba: Expressão Atual e Registro da Coluna Sedimentar da Planície Costeira Adjacente”; e em 1978 a conclusão e divulgação pelo IPT da Carta Geotécnica dos Morros de Santos, projeto coordenado pelo autor do presente livro, e que, pela primeira vez, relacionava a incidência de escorregamentos com determinadas tipologias de encostas e com rupturas positivas de declive.

A seguir, vários projetos proporcionam o progressivo “desvendamento” da Dinâmica Externa da Serra do Mar, com destaque às Cartas Geotécnicas para municípios do litoral, a continuidade dos estudos sobre correlação entre chuvas e escorregamentos, a aplicação pioneira e plenamente bem-sucedida de programas de Defesa Civil ligados a riscos geológicos, o aprofundamento dos estudos sobre o fenômeno de “corrida de lama”, etc.

Reunindo informações publicamente disponíveis e agregando opiniões e conclusões de caráter pessoal, o autor deste livro entende o atual estágio de conhecimentos proporcionado pela Geologia de Engenharia como bastante avançado e plenamente conclusivo para orientar devidamente qualquer tipo de intervenção de engenharia que seja necessária no âmbito da Serra do Mar. Esses conhecimentos e informações são sistematizados a seguir.

Princípio geral — Somente a partir do perfeito entendimento da Dinâmica Externa natural da Serra do Mar será possível prever e superar com sucesso os fenômenos geológico-geotécnicos decorrentes das intervenções do homem em suas encostas.

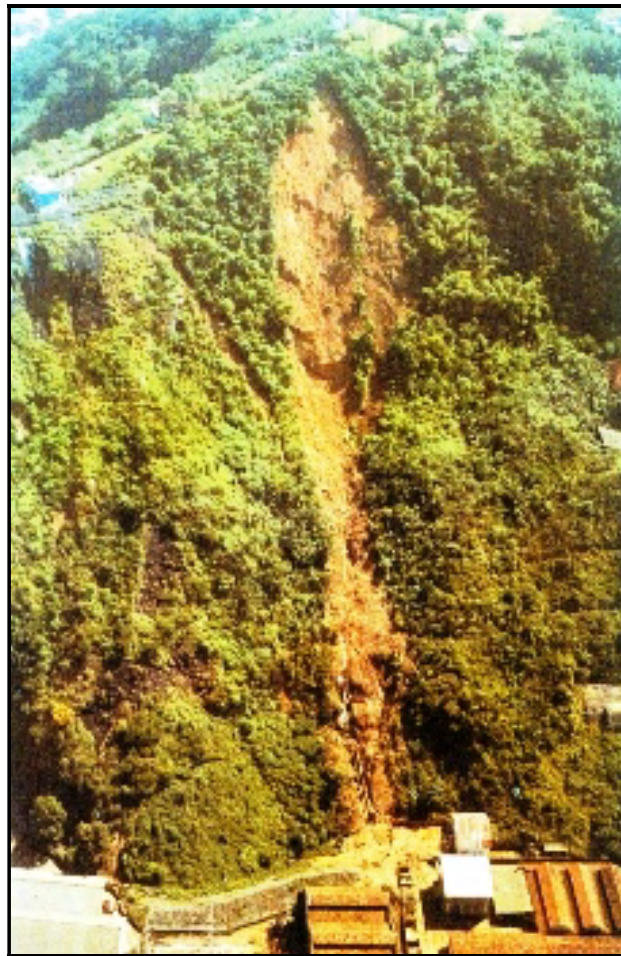
Tipologia de movimentos de massa — Sob o ponto de vista da Geologia de Engenharia impõe-se uma classificação inicial dos movimentos de massa da Serra em dois grandes grupos: naturais e induzidos (por algum tipo de ação humana).

| TIPOS | | CARACTERÍSTICAS |
|---|--|--|
| N A T U R A I S | Rastejo, solifluxão | Movimentos de grande lentidão e intermitência no horizonte superior de solos superficiais. |
| | Escorregamentos translacionais rasos (ou planares) | Desmorte hidráulico de solos superficiais especialmente associado a encostas retilíneas com inclinação acima de 30° e rupturas positivas de declive. |
| | Corridas de lama | Violenta torrente fluida de massa de solo e rocha ao longo dos talwegues de vales encaixados, originada da confluência do material de inúmeros escorregamentos planares ocorridos nas vertentes desses vales. |
| | Desprendimentos em rocha | Queda de blocos e lascas de superfícies rochosas naturais expostas; rolamento de matacões superficiais. |
| I N D U Z I D O S | Movimentação de tálus e corpos coluvionares | Movimentação de grandes massas coluvionares quando cortadas ou sobrecarregadas por algum tipo de intervenção humana. |
| | Escorregamentos rotacionais profundos | Escorregamentos de grandes massas de solo devido especialmente a escavações de pé de talude, sobrepeso, alterações de drenagem, desmatamento, etc. |
| | Escorregamentos translacionais rasos (ou planares) | Por cortes no terreno, concentração de águas superficiais, desmatamento, sobrepesos de aterros ou lixo, etc. |
| | Desprendimentos em rocha | Queda de blocos individualizados ou desmoronamentos de conjunto de blocos por combinação desfavorável de planos estruturais da rocha com plano do talude de corte, vibrações no terreno, descalçamento erosivo de matacões, etc. |
| | Colapso em saprolito fraturado | Desmoronamento de grandes massas de rocha alterada fraturada pela combinação desfavorável de orientações espaciais de estruturas da rocha, diferentes graus de alteração, inclinação do plano do talude de corte e direção da estrada. |

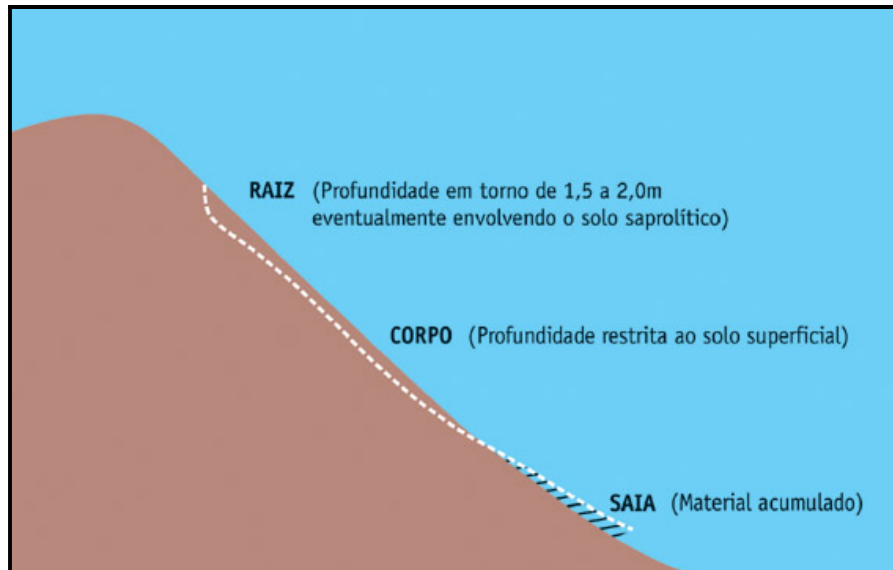
Classificação dos movimentos de massa na Serra do Mar segundo a Geologia de Engenharia (ARSantos)

- **Rastejo** — Pela decomposição tangencial da força de gravidade, as camadas superficiais de solos das encostas da Serra estão sujeitas a um lentíssimo movimento em direção aos talwegues dos vales. Esse movimento é descontínuo espacial e temporalmente. Não há o estabelecimento de superfície de ruptura, mas acomodações e escoamentos plásticos localizados, potencializados especialmente pela ação das águas de chuva. As pequenas movimentações centimétricas promovidas pelo rastejo têm escala temporal medida por anos ou dezenas de anos. O rastejo ocorre sobretudo em encostas retilíneas e **convexas**, em intensidades proporcionais à inclinação dessas encostas.
- **Escorregamentos translacionais rasos (ou planares)** — Os únicos escorregamentos naturais em solo na Serra do Mar são os translacionais rasos (ou planares). Esses escorregamentos mobilizam quase que exclusivamente o horizonte superior de solos superficiais. Somente em sua “raiz”, ou seja, no local de sua origem/início, há,

eventualmente, mobilização de materiais do horizonte imediatamente inferior de solo de alteração de rocha, saprolítico. São os escorregamentos translacionais rasos, por sua grande área de distribuição e pela frequência de ocorrência, aqueles que inspiram o maior cuidado para os empreendimentos humanos que se façam necessários na Serra do Mar. A Geologia de Engenharia brasileira proporcionou nas últimas décadas um considerável avanço da compreensão da dinâmica desse tipo de escorregamento, atingindo o que se pode considerar um estágio avançado de conhecimentos, informando adequadamente, a todo tipo de atividade humana interessada, sobre onde, quando e como esses escorregamentos ocorrem.

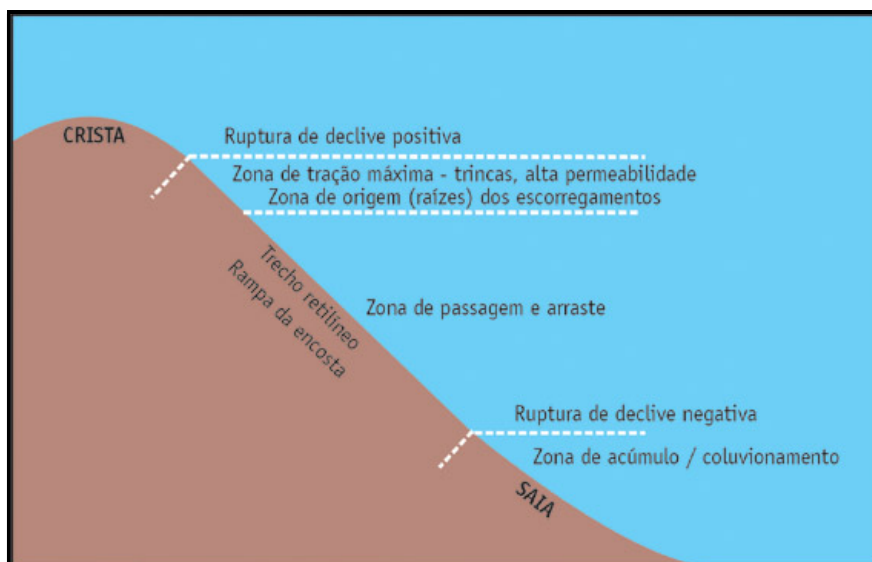


Deslizamento Translacional Raso (ou Planar) típico. Local: Morros de Santos e São Vicente. Notar a proximidade da “raiz” da crista do espigão e a pouca profundidade dos solos superficiais mobilizados.(Foto Arquivo IPT).



Seção típica do escorregamento translacional raso (planar)

A raiz constitui o “centro nervoso” do escorregamento. Ai, e só ai, acontecem os fenômenos hidráulicos e geotécnicos que na verdade determinam o desenvolvimento ou não do escorregamento. A profundidade alcançada na raiz é sempre superior àquela apresentada no corpo do escorregamento. Via de regra, na raiz são também mobilizados materiais envolvendo o solo saprolítico. O corpo do escorregamento é mobilizado pelo arraste promovido pelo material proveniente do “desmonte hidráulico” da raiz. Ou seja, não há uma superfície de ruptura clássica entre o corpo do escorregamento e o maciço.



Elementos funcionais típicos de um escorregamento translacional raso (planar)

O escorregamento translacional raso é o único escorregamento em solos naturais nas encostas da Serra do Mar. Ou seja, pode ocorrer sem a intervenção do homem. O mapeamento de sua maior ou menor incidência natural revela as zonas da Serra de maior ou menor instabilidade potencial. Hoje, sua dinâmica, ou seja, o onde, o quando e o como ocorrem, está adiantadamente equacionada, o que, juntamente com outros conhecimentos

geotécnicos correlatos da Serra, proporciona informações suficientes para que as obras de engenharia na Serra sejam corretamente projetadas e construídas, e, portanto, coroadas de sucesso.



Imagens dos catastróficos eventos ocorridos no ano de 1967 em Caraguatatuba – SP (acima) e Serra das Araras – RJ (abaixo), tragédias que levaram à morte mais de 2.000 brasileiros. Os fenômenos típicos de eventos dessa escala de grandeza não constituem um tipo diferenciado de deslizamentos, mas sim a conjunção de milhares de deslizamentos translacionais rasos (planares) naturais e induzidos, cuja dinâmica é descrita adiante. Observar a constante proximidade das raízes dos deslizamentos das cristas dos espigões. A confluência do material terroso, rochoso e vegetal resultante desses deslizamentos para talvegues de vales provocaram várias corridas de detritos com enorme e trágico poder destrutivo. Foto acima, Arquivo Nelson Infanti, foto abaixo, Geological Survey Professional Paper 697.

O ONDE — Os escorregamentos translacionais rasos são notadamente associados à faixa de terreno superior de encostas retilíneas com inclinações superiores a 30° encimadas por rupturas de declive positivas. O que coincide, via de regra, na passagem da crista para as encostas dos espigões. Rupturas de declive referem-se a alterações sensíveis na inclinação topográfica dos terrenos. Podem ser positivas quando se passa de uma inclinação menor para uma inclinação maior, ou negativas, quando em uma seqüência inversa. Notar nas fotos que registram grandes eventos de escorregamentos na Serra do Mar a invariável proximidade das raízes desses escorregamentos da crista dos espigões.

O QUANDO — A ocorrência generalizada desses escorregamentos está comprovadamente relacionada a históricos pluviométricos caracterizados por prolongadas chuvas de saturação culminadas com episódios de alta pluviosidade concentrada, situação típica dos meses de verão. Ainda que a relação chuvas/deslizamentos seja específica de cada sub-região da Serra do Mar, pode-se ter como indicação geral que as probabilidades de ocorrência de deslizamentos são reais e crescentes a partir de históricos pluviométricos caracterizados por episódios pontuais de chuvas maiores de 100 mm/dia antecidos por 3 ou 4 dias de chuvas intensas de saturação.

O COMO — A dinâmica desses escorregamentos é associada às trincas de tração e ao solo distendido altamente permeável normalmente ocorrentes em uma faixa de terreno de largura média em torno de 2 a 3 metros, paralela e próxima à linha de cumieira (crista) dos espigões, logo abaixo da ruptura positiva de declive aí presente. Essa faixa de terreno corresponde a uma zona de tração máxima promovida pelas diferenças de intensidade do rastejo dos solos superficiais a montante e a jusante da ruptura de declive (intensidade de rastejo quase nula no trecho convexo da crista do espigão e intensidade máxima de rastejo ao longo do trecho retilíneo da vertente que se desenvolve logo a seguir). Essas trincas e essa faixa de solo distendido de alta permeabilidade relativa, fatores ampliados quando de chuvas de saturação prolongadas, permitem, quando de episódios de alta pluviosidade concentrada, uma direta, volumosa e rápida entrada de água nos horizontes dos solos superficiais e solos saprolíticos, com saturação completa e formação de bolsões instantâneos de água que, a depender da relação de esforços resistentes e atuantes, podem provocar um verdadeiro desmonte hidráulico na “raiz” do escorregamento. Por força das trincas de tração e do solo distendido de alta permeabilidade, os fenômenos hidráulicos/geotécnicos na “raiz” do escorregamento planar são totalmente diferenciados daqueles que ocorrem ao longo da extensão longitudinal jusante de todo o escorregamento, ou seja, enquanto na “raiz” há um desmonte hidráulico instantâneo, o material a jusante da raiz é mobilizado por arraste ou sobrecarregamento, mecanismos obviamente facilitados pelo estado geral de saturação dos solos superficiais nos episódios de chuva descritos, não se estabelecendo em nenhum momento uma superfície clássica e contínua de ruptura. A análise de uma cicatriz de escorregamento translacional raso evidencia claramente essa observação, com a “raiz” via de regra apresentando uma profundidade maior que o corpo restante do escorregamento, inclusive com **comum** mobilização local de ao menos parte do horizonte de solo saprolítico.

| | |
|---------------|---|
| ONDE | Logo abaixo de rupturas de declive positivas que encimam encostas retilíneas com inclinação superior a 30°. |
| QUANDO | Com probabilidade crescente a partir de episódios de chuva de 100mm/dia antecedidos de chuvas de saturação nos 3 ou 4 dias precedentes. |
| COMO | A faixa de terreno logo abaixo das cristas de espigões ou cumeeiras da escarpa, ou seja, logo abaixo da principal ruptura positiva de declive, é uma região de máxima tração dos solos superficiais, promovida pelas diferenças da intensidade de rastejo entre a capa superficial de solos da crista do espigão ou da cumeeira (intensidade de rastejo zero) e a capa de solos da vertente retilínea da encosta (intensidade de rastejo máxima). Essa faixa de terreno é, por decorrência, caracterizada por uma alta permeabilidade proporcionada por trincas de tração e pelo solo distendido. Em episódios de chuva intensa, especialmente após chuvas preparatórias de saturação, este fato proporciona uma volumosa entrada de água para o horizonte imediatamente abaixo do solo superficial, o que pode implicar em um verdadeiro desmonte hidráulico da "raiz" do escorregamento. O solo superficial a jusante da raiz é mobilizado por arraste e sobrepeso, não se estabelecendo uma superfície de ruptura clássica ao longo do corpo do escorregamento. |

A Geologia de Engenharia diz onde, quando e como ocorrem os escorregamentos translacionais rasos na Serra do Mar



Foto mostrando o episódio de inúmeros escorregamentos translacionais rasos (planares) ocorridos em 1985 nas encostas do vale do Rio Mogi. Esses escorregamentos estão relacionados ao fenecimento da vegetação arbórea provocado pela poluição do Pólo Industrial de Cubatão. O fato comprova o efetivo papel da vegetação na estabilidade das encostas, acrescentando-se que os escorregamentos foram potencializados já a partir somente da perda de parte das copas da vegetação arbórea, uma vez que a malha de enraizamento ainda estava totalmente preservada. Notar a invariável proximidade das raízes dos escorregamentos das cristas dos espigões, mostrando sua nítida relação com a faixa de tração máxima de solos (trincas e alta permeabilidade) situada logo abaixo da ruptura positiva de declive. (Foto Arquivo IPT)

O nível d'água e os deslizamentos — O NA do lençol freático é normalmente muito profundo na Serra do Mar, especialmente nas zonas das encostas onde se dão os deslizamentos translacionais rasos, não se associando nunca, portanto, à dinâmica desses fenômenos. De uma forma geral, no contexto da Serra, os horizontes inferiores drenam os horizontes superiores.

A floresta e os deslizamentos — A vegetação natural da Serra do Mar (Floresta Atlântica de Encostas — Floresta Ombrófila Densa) constitui o único, e espetacular, fator externo inibidor dos escorregamentos e de todas as formas de movimentação superficial dos terrenos, cumprindo esse papel por meio dos seguintes atributos:

- impede a ação direta das gotas de chuva no solo através das copas e da serapilheira;
- impede a ação erosiva das águas de chuva por meio de raízes superficiais e da serapilheira;
- retém por molhamento de todo o edifício arbóreo parte da água da chuva que chegaria ao solo;
- dilui no tempo o acesso das chuvas ao solo;
- retira por absorção, e devolve à atmosfera por evapo-transpiração, parte da água infiltrada no solo;
- agrega, “coesiona” e retém os solos superficiais através de uma formidável malha superficial e subsuperficial de raízes.



Foto aérea na região do Caminho do Mar mostrando o aspecto extremamente denso da diversificada vegetação (notar as mais diferentes cores das copas arbóreas), com as copas formando um único e solidário corpo vegetal. A vegetação constitui o único, mas fantástico, fator externo de proteção das encostas contra escorregamentos. (Foto Arquivo Dersa)

O importantíssimo papel da floresta na contenção das encostas da Serra do Mar ficou nítida e didaticamente evidenciado por ocasião dos escorregamentos generalizados que ocorreram nas encostas do Vale do Rio Mogi no final do verão 1984/1985. Como conseqüência da intensa poluição atmosférica gerada pelo pólo industrial de Cubatão, a floresta de porte arbóreo vinha sofrendo um acelerado processo de fenecimento ao longo desse vale. Sem mesmo ter sido iniciado o processo de apodrecimento das raízes, apenas o processo de desfolhamento do estrato arbóreo provocado pela poluição foi suficiente para a quebra do equilíbrio entre os agentes resistentes e os agentes promotores de escorregamentos.

Uma outra constatação demonstra a capacidade de proteção oferecida aos solos superficiais pela floresta. Mesmo em chuvas de grande intensidade, as águas das drenagens que correm da Serra para a Baixada permanecem cristalinas, sem nenhum turvamento que possa suscitar a remoção de solos por erosão.

- **Escorregamentos rotacionais profundos** — Escorregamentos rotacionais em solos com superfície de ruptura definida não são naturais na Serra do Mar, só ocorrendo quando associados a algum tipo de intervenção humana (desmatamentos, escavações do terreno, sobrecarregamento do terreno com aterros, alterações na drenagem superficial ou profunda, etc), ou seja, quando induzidos. Não se conhecem registros falados nem escritos da ocorrência natural de escorregamentos rotacionais. São mais suscetíveis de ocorrer em situações de solos mais profundos, portanto em encostas ou morros isolados com menor declividade.

A seguir é mostrada seqüência histórica de fotos do deslizamento rotacional profundo do Mont Serrat, em Santos, mostrando sua inequívoca origem induzida.

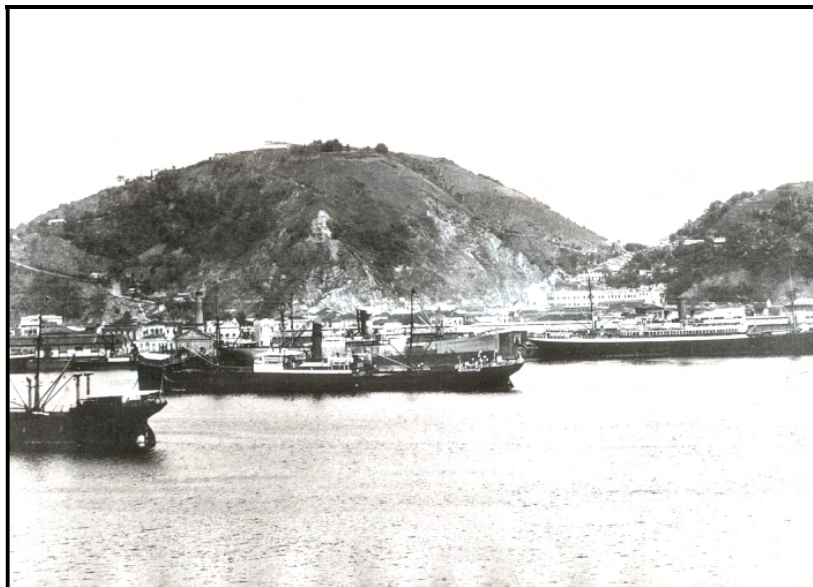


Foto bastante antiga, 1906, mostrando o Mont Serrat, em Santos, já quase totalmente desmatado e com evidentes sinais de instabilização induzida pelo homem. Provavelmente instabilizações provocadas pelo desmatamento, por cortes no sopé de taludes para instalação de edificações e retirada de material para empréstimo. (Foto Arquivo IPT)

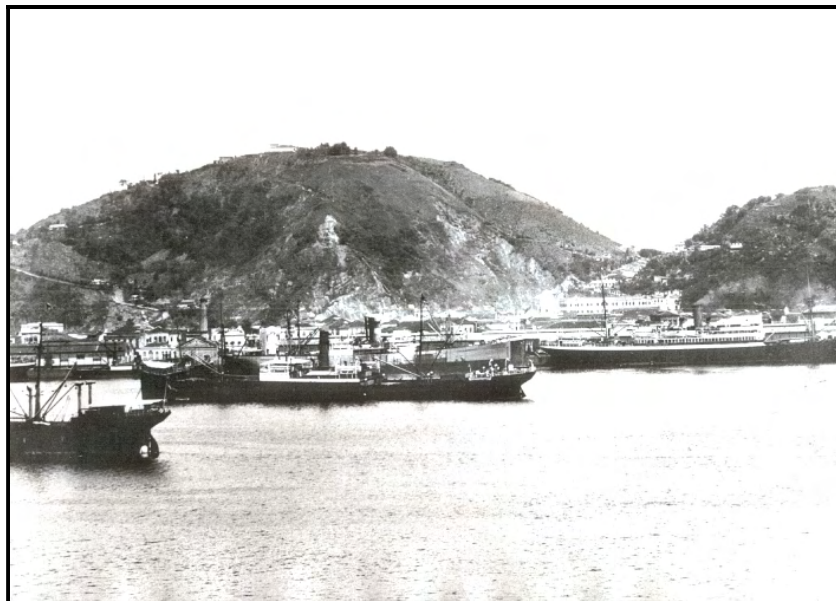


Foto de 1913, já mostrando os graves sinais de instabilidade na encosta do Mont Serrat anterior à Santa Casa induzidos pelo desmatamento e pelos cortes envolvidos na expansão das instalações da Santa Casa e outros imóveis locais. Os registros de instabilidades nas encostas do Mont Serrat datam dos tempos coloniais. (Foto Acervo Maria Cecília França Monteiro da Silva)



Foto panorâmica do extenso escorregamento rotacional profundo ocorrido no Mont Serrat em 1928 atingindo a parte anterior da Santa Casa de Santos e provocando a morte de cerca de 200 pessoas. Em 1956 um novo escorregamento no local causou graves danos patrimoniais e humanos. Escorregamentos desse tipo, rotacionais profundos, não ocorrem naturalmente na Serra do Mar. São sempre, de alguma forma, induzidos pela atividade humana. (Foto Arquivo Revista Solos e Rochas)

- **Movimentações em corpos de tálus e depósitos coluvionares** — Os depósitos coluvionares de meia encosta e os corpos de tálus são, para as condições naturais, estáveis. Geralmente os corpos de tálus apresentam um lençol d'água suspenso. Não fosse um “filme” de baixa permeabilidade capeando o pretérito terreno que “recebeu” o tálus, o lençol suspenso seria drenado para o interior do maciço sotoposto. Aliás, é o que é observado quando de sondagens mecânicas que comunicam o corpo de tálus com o interior do maciço abaixo. Um corpo de tálus pode, teoricamente, por decorrência, ser artificialmente drenado para o maciço sotoposto. Não se conhece registro falado nem escrito dando conta de algum tipo de movimentação natural de depósitos coluvionares de meia encosta e de corpos de tálus. A instabilização de um corpo de tálus ou de um depósito coluvionar só ocorre por intervenção humana por meio de desmatamentos ou cortes promovidos por algum tipo de obra. Nesse caso, é uma instabilização extremamente problemática, dada a enorme massa posta em movimento. Os corpos de tálus devem ter se formado em condições climáticas diversas das atuais, com escassez de cobertura vegetal e exposição do manto de solos à ação direta das águas de chuva. Uma evidência clara é a ausência de restos vegetais na composição de um corpo de tálus. São, portanto, depósitos bem mais antigos do que inicialmente os geólogos e geotécnicos, de uma maneira geral, imaginavam.

Os tálus, dados os enormes problemas que a Via Anchieta enfrentou em sua transposição, foram eleitos como “inimigos preferenciais” nas preocupações do DER em suas recomendações ao IPT, quando da contratação do Instituto, em 1967, para trabalhos de caracterização geológico-geotécnica ao longo da faixa de terreno que receberia as pistas da Imigrantes. Seguindo essa recomendação, a equipe de geólogos do IPT identificou alguns corpos de tálus ao longo da diretriz de traçado definida pelo DER, sendo esse o motivo da única recomendação de alteração de traçado feita pelos técnicos do Instituto. Na altura do hoje denominado Viaduto 19 da pista ascendente, o IPT sugeriu uma flexão à direita (sentido Santos) que proporcionaria a fuga do tálus e uma travessia antecipada do Rio Cubatão.

Em resposta às justificadas preocupações com esse tipo de formação geológica, o Engenheiro José Carlos de Figueiredo Ferraz, projetista da primeira pista da Rodovia dos Imigrantes, concebeu um dispositivo de segurança para os pilares dos viadutos que transpunham corpos de tálus, e que se constituiu em um amplo anel (camisa) de concreto em torno do pilar (veja foto adiante). Esse anel, separado por cerca de 1,5 m do pilar, tem a profundidade do próprio corpo de tálus, e, por meio de monitoramento permanente, daria os primeiros sinais de eventual movimentação dessa formação, permitindo então que a engenharia de manutenção tivesse o tempo necessário para tomar as medidas que se mostrassem pertinentes sem que os pilares tivessem sido ainda afetados.

O autor tem hoje como certo que os corpos de tálus são, se não escavados ou cortados, dotados de grande estabilidade, especialmente com a implementação de bom sistema de drenagem profunda. Ou seja, os tálus só se movimentam realmente de forma ameaçadora quando seccionados por algum tipo de escavação. Garantindo-se que não sejam “cortados” nem durante nem após a implantação de uma obra, poderiam, sem problemas maiores e sem necessidade de serviços especiais, receber as fundações de pilares de viadutos ou outros tipos de instalações, como dutos, linhas de transmissão, etc.



Para proteção dos pilares de viadutos que atravessavam corpos de tálus, o engenheiro José Carlos de Figueiredo Ferraz, projetista da Rodovia dos Imigrantes, concebeu o dispositivo do “pilar encamisado”, que viria a se constituir em um cilindro de concreto armado atravessando toda a espessura do corpo de tálus e envolvendo o pilar. Por monitoramento de eventual movimentação do tálus, o dispositivo proporcionaria o tempo necessário para as medidas de proteção dos pilares que se fizessem necessárias. (Foto do autor)

- **Corridas de lama e detritos** — As corridas de lama e detritos (*mud-flow*, *debris-flow*) constituem os movimentos de massa de maior poder destrutivo que ocorrem naturalmente na Serra do Mar. Comportam-se como verdadeiras avalanches de solo, água e blocos de rocha que correm ao longo dos talvegues de vales. O material que compõe a corrida de lama é resultante da ocorrência simultânea e da confluência de centenas de escorregamentos translacionais rasos nas encostas de um determinado vale por ocasião de eventos pluviométricos de extraordinária intensidade. Normalmente, durante o episódio de escorregamentos e de uma corrida de lama associada, há uma sucessão de barramentos ao longo do talvegue, provocados por material proveniente dos escorregamentos das encostas. Esses barramentos e seus decorrentes rompimentos pela enorme massa detrítica fluida que se acumula a seu montante

são em parte responsáveis pela fantástica energia destrutiva que caracteriza esse tipo de movimento de massa.



Corrida de detritos em drenagem que corta o Caminho do Mar. Essa corrida tem sido recorrente, a da foto é de março de 2022. Em março de 2023 houve nova reativação.



Material resultante de uma “corrida de detritos” (debris-flow) que atingiu instalações da Refinaria Presidente Bernardes, em Cubatão, no ano de 1994. A capacidade destrutiva de uma corrida de lama é extremamente alta, o que recomenda preventivamente a não ocupação de áreas de risco ante esse tipo de acidente, ou a remoção de instalações já

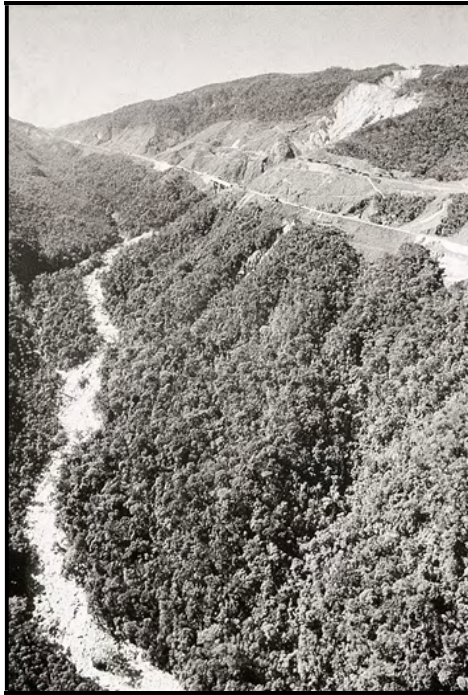
eventualmente aí construídas. Na total impossibilidade dessa última recomendação, pode-se lançar mão de barramentos estruturais cujo papel é reduzir a energia do fenômeno e desviar sua direção. (Foto IPT-DEC)



Após do carreamento das partículas mais finas, resultam os blocos maiores de rocha que compõem uma “corrida de detritos”. Essa seria uma provável origem de um grande número de leques aluviais pedregosos do sopé da Serra. (Foto IPT-DEC)

- **Desprendimentos em rocha** - Ocorrem via de regra de maneira brusca por ação direta da força da gravidade. O isolamento de uma porção de rocha de seu maciço de origem, condição elementar de seu eventual desprendimento, pode ocorrer ou pela junção de sistemas de fraturamento, pela decomposição diferenciada de veios de composição mineralógica diversa, ou pelo isolamento de lascas ou placas promovido por alívios da tensão residual de maciços rochosos. Especialmente em maciços graníticos ou granitóides são freqüentes os matacões rochosos imersos em solos residuais. Com a evolução das encostas, esses matacões podem se apresentar muito próximos à superfície, predispondo-se ao rolamento pela erosão superficial ou até pela ruptura de seus pontos de apoio no terreno. Em condições naturais, os desprendimentos de blocos, lascas e placas são provocados pela ação isolada ou combinada de chuvas torrenciais, contínuo dilatar e contrair relacionado às variações de temperatura, carreamento de material de preenchimento de fraturas e por expansão de raízes que penetram por fraturas e discontinuidades. O homem freqüentemente induz desprendimentos em rocha por meio de escavações no terreno, vibrações por desmonte de pedreiras ou passagem de veículos pesados, alteração dos fluxos superficiais das águas de chuva, etc. Em feições geológicas caracterizadas por morros e encostas com grande exposição direta do maciço rochoso, como a forma “pão-de-açúcar”, típica da cidade do Rio de Janeiro, os fenômenos de desprendimentos em rocha adquirem caráter de enorme periculosidade, especialmente quando associados a formas diversas de ocupação urbana das encostas.

- **Colapso em saprolito fraturado** - Taludes de corte em rocha alterada intensamente fraturada podem, por meio da combinação espacial das estruturas da rocha, e de seus diferentes graus de alteração, com a direção e inclinação do plano de talude, juntamente com as modificações ocasionadas na drenagem superficial e sub-superficial do maciço, proporcionar o desmoronamento de grandes massas rochosas. Instabilidades desse tipo têm geralmente caráter remontante, sendo de difícil e custosa estabilização. Exemplo clássico desse tipo de movimento de massa induzido está no famoso escorregamento da Grotta Funda na Estrada de Ferro Santos–Jundiaí.



Vista panorâmica do famoso escorregamento da Grotta Funda, tão problemático para as operações ferroviárias da Santos–Jundiaí. Esse escorregamento é um caso clássico de colapso em saprolito fraturado. (Foto Arquivo IPT).

TRANSPOSIÇÕES VIÁRIAS DA SERRA DO MAR

Nature to be commanded must be obeyed. (Francis Bacon, 1620)³

Desde os tempos pré-coloniais a escarpa da Serra do Mar significou um formidável obstáculo natural para a livre circulação de pessoas e bens entre a hoje chamada Baixada Santista e o Planalto do Piratininga, apesar da existência, nessa região, de uma suavização da amplitude da escarpa, com redução do desnível litoral/planalto a altitudes entre 700 e 800 metros.

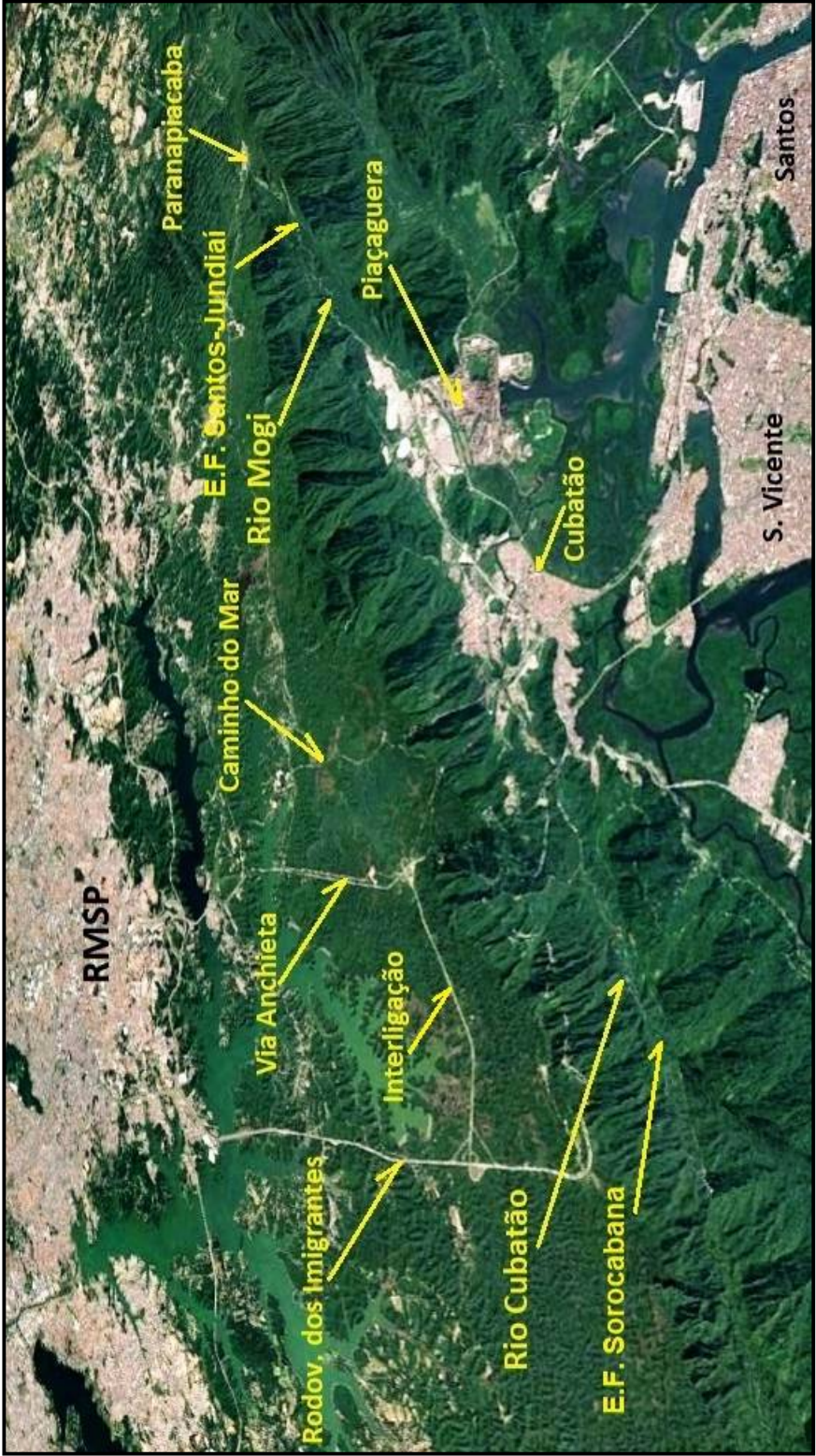
O obstáculo foi de tal ordem que justificou, em 1627, ao menos para o Sudeste brasileiro, a expressão de Frei Vicente de Salvador, um dos primeiros historiadores brasileiros: “*as primeiras populações pareciam caranguejos arranhando a costa*”.

Ao contrário do que normalmente se imagina, nossos índios não habitavam a orla, mas tinham suas moradias fixas no Planalto. Desciam a Serra por trilhas muito simples somente nos meses mais frios — junho, julho, agosto — para fugir das baixas temperaturas, para a pesca da tainha e do parati e para a cata de mariscos, os quais traziam secos e salgados para o Planalto ao fim do inverno. Assim, morando no Planalto, tinham nossos índios a escarpa da Serra como uma defesa natural de suas aldeias.

Com o desenvolvimento da colonização, em que pesem as dificuldades impostas pela Serra, a necessidade de trânsito entre a Baixada e o Planalto foi crescente e progressiva. Mesmo porque muito cedo os terrenos da Baixada mostraram-se geograficamente restritos e agronomicamente pobres para a agricultura comercial de larga escala projetada pelos colonizadores. Primeiro foi a necessidade de transporte de equipamentos militares para a implantação de sistema de defesa das vilas que se estabeleciam no Planalto e de municiação das expedições que daí penetravam o interior do país. Mais adiante, a necessidade de uma melhor condição de escoamento do açúcar crescentemente produzido na região de Campinas e Itu. Mais tarde, a necessidade de dar escoamento à produção de café do Vale do Paraíba e outras regiões da província.

Ao lado da necessidade de escoamento portuário da produção agrícola e da interiorização dos insumos alimentícios e manufaturados ainda largamente importados, também a evolução dos meios de transporte exigia estradas progressivamente mais amplas e com rampas mais suaves. Dos sofridos ombros de escravos índios e negros, rapidamente se passou ao lombo de tropas de mulas, a carroções, aos primeiros veículos motorizados, ao caminhão, às composições ferroviárias. Como decorrência, surgiam cortes e obras cada vez mais profundos nas encostas da Serra. A resposta da natureza a uma agressão dessa ordem não se fez por esperar. Deslizamentos e erosões transformaram o esforço de abertura e operação das estradas em verdadeiras epopéias humanas, invariavelmente com conotação trágica em perda de vidas humanas e bens econômicos.

³ Francis Bacon, filósofo inglês (1561–1626), autor de *Novum Organum*.



O fantástico desenvolvimento econômico do Estado de São Paulo não poderia ter suas demandas de exportação e importação estranguladas por dificuldades de ligação entre o Planalto produtor e o porto exportador. Sucessivamente a necessidade de novas transposições viárias foram se impondo, exigindo a mobilização da sociedade brasileira e paulista para implantar as novas ligações que se impunham. Para vencer o difícil desafio, somaram-se o caráter empreendedor de grandes brasileiros, a coragem e o espírito público de muitos administradores e a competência e ousadia da engenharia brasileira.

Incrivelmente, os erros cometidos e os desastres colhidos na implantação de uma determinada transposição viária não se transformavam em ensinamentos para melhores opções técnicas nas próximas transposições. Por muito tempo os mesmos erros foram sistematicamente cometidos, todos com as mesmas gravíssimas conseqüências para a sociedade paulista e brasileira. Foi uma longa jornada caracterizada pela atitude insana de “vencer a Serra” a qualquer custo. Um tempo de enorme heroísmo e arrojo de nossos administradores públicos, de nossos engenheiros e de nossos empreendedores privados, que, por certo, nos proporcionaram, ainda que por muito tempo insegura e sujeita a freqüentes interrupções, a desejada condição de transposição viária da serra, mas a um enorme preço social. Ônus que poderia já de há muito ter sido reduzido, houvesse amadurecido mais cedo a atitude técnica esboçada já pela Calçada do Lorena, e que felizmente acabou por prevalecer, qual seja a de “ajustar-se à Serra”, apreendendo e incorporando suas características geológicas à filosofia dos projetos e obras de transposição. Tão tardiamente dando razão a Francis Bacon, que já afirmava em 1620: “A Natureza para ser comandada precisa ser obedecida.”

A tabela a seguir sugere as diferentes fases histórico-tecnológicas observadas pelas transposições viárias consideradas.

| FASES | VIAS | BASE TECNOLÓGICA |
|----------------------|---|----------------------------------|
| PRIMITIVA | Trilha dos Tupiniquins Caminho do Padre José | Picada batida |
| INGÊNUO-VOLUNTARISTA | Novo Caminho do Cubatão | Picadão |
| RACIONAL 1 | Calçada do Lorena | Estrada ziguezagueando o espigão |
| HERÓICO-VOLUNTARISTA | Estrada da Maioridade Caminho do Mar Anchieta E.F. Santos–Jundiáí E.F. Sorocabana | Cortes de meia encosta |
| RACIONAL 2 | Imigrantes | Túneis e viadutos |

As tabelas seguintes reúnem e resumem várias informações e dados relativos às transposições viárias que objetivaram ligar a Baixada Santista e o Planalto de Piratininga, descritas mais detalhadamente em seqüência.

| VIA | TRAJETO | TIPO | RAMPA MÁXIMA | LARGURA MÉDIA (m) PLATAFORMA | CONCEITO TECNOLÓGICO BÁSICO | GRAU DE INTERF. NAS ENCOSTAS |
|-------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------|------------------------------|------------------------------------|------------------------------|
| Trilha dos Tupiniquins | Vale Mogi D | Picada | Muito variável | 0,60 | Chão batido | Nenhum |
| Caminho do Padre José | Vale do Perequê D | Picada | Muito variável | 1,00 | Chão batido | Muito baixo |
| Novo Caminho do Cubatão | Vale do Rio das Pedras D | Picadão | 20% | 2,00 | Pequenos cortes, arrimos e estivas | Médio |
| Calçada do Lorena | Espigão Pedras/ Perequê | Estrada calçada | 20% – 25% | 3,00 | Pequenos cortes e arrimos | Baixo |
| Estrada da Maioridade | Vales Pedras/ Perequê | Estrada encascalhada | 10% | 4,50 | Cortes encaixados na encosta | Alto |
| Caminho do Mar | Vales Pedras/ Perequê | Macadame e concreto | 10% | 5,50 | Cortes encaixados na encosta | Alto |
| Via Anchieta | Vale dos Pilões | Concreto | 6% | 9,00 | Cortes encaixados na encosta | Muito alto |
| Imigrantes ascendente | Vales E Cubatão/ Pilões | Concreto | 6% | 17,40 | Túneis e viadutos | Alto (paradoxal) |
| Imigrantes descendente | Vales E Cubatão/ Pilões | Concreto | 6% | 17,40 | Túneis e viadutos | Baixo |
| E.F. Santos-Jundiá | Vale do Mogi E | Funicular 1/ cremalheira | 10% | 4,50 | Cortes encaixados na encosta | Muito alto |
| E.F. Santos-Jundiá | Vale do Mogi E | Funicular 2 | 8% | 4,50 | Cortes encaixados na encosta | Muito alto |
| E.F. Sorocabana | Vale do Cubatão D | Simples aderência | 2% | 6,0 | Cortes encaixados na encosta | Muito alto |

| VIA | PERÍODO ÁUREO | PRINCIPAL MEIO DE TRANSPORTE | APORTES TECNOLÓGICOS | PRINCIPAL OBJETIVO |
|--|---------------|------------------------------|--|--|
| Trilha dos Tupiniquins | Até 1560 | A pé | Empirismo indígena | Acesso ao litoral |
| Caminho do Padre José | 1560 -1770 | A pé | Empirismo indígena | Evitar contato com os tamoios |
| Novo Caminho do Cubatão | 1770 -1790 | A pé e mula | Experiência européia. Mestres de obra portugueses | Abastecimento das expedições para o sertão |
| Calçada do Lorena | 1790 -1841 | Tropa de mulas | Real Corpo de Engenheiros de Portugal | Escoamento do açúcar |
| Estrada da Maioridade | 1841 -1867 | Carroção | Experiência luso-brasileira Gabinete Topogr. da Província. Daniel Muller, José Vergueiro | Escoamento do açúcar e do café |
| Caminho do Mar | 1913 -1947 | Automóvel | Engenharia brasileira privada. Rudge Ramos | Atendimento do automobilismo |
| Via Anchieta | 1947 -1974 | Caminhão | Engenharia rodoviária brasileira. DER - SP. Normas alemãs | Permitir o tráfego de caminhões |
| Rodovia dos Imigrantes (1ª e 2ª) | 1976 - hoje | Automóvel | Engenharia brasileira e italiana. Figueiredo Ferraz | Dar vazão ao volume de tráfego |
| E.F. Santos-Jundiaí Primeira funicular | 1867-1901 | Trem | Engenharia ferroviária inglesa. Daniel Makinson Fox | Escoamento do café |
| E.F. Santos-Jundiaí Segunda Funicular | 1901 -1974 | Trem | Engenharia ferroviária inglesa | Escoamento do café |
| E.F. Santos-Jundiaí Cremalheira | 1974 - | Trem | Engenharia ferroviária inglesa | Escoamento do café |
| E.F. Sorocabana simples aderência | 1937 - | Trem | Engenharia ferroviária brasileira. Gaspar Ricardo | Escoamento do café |

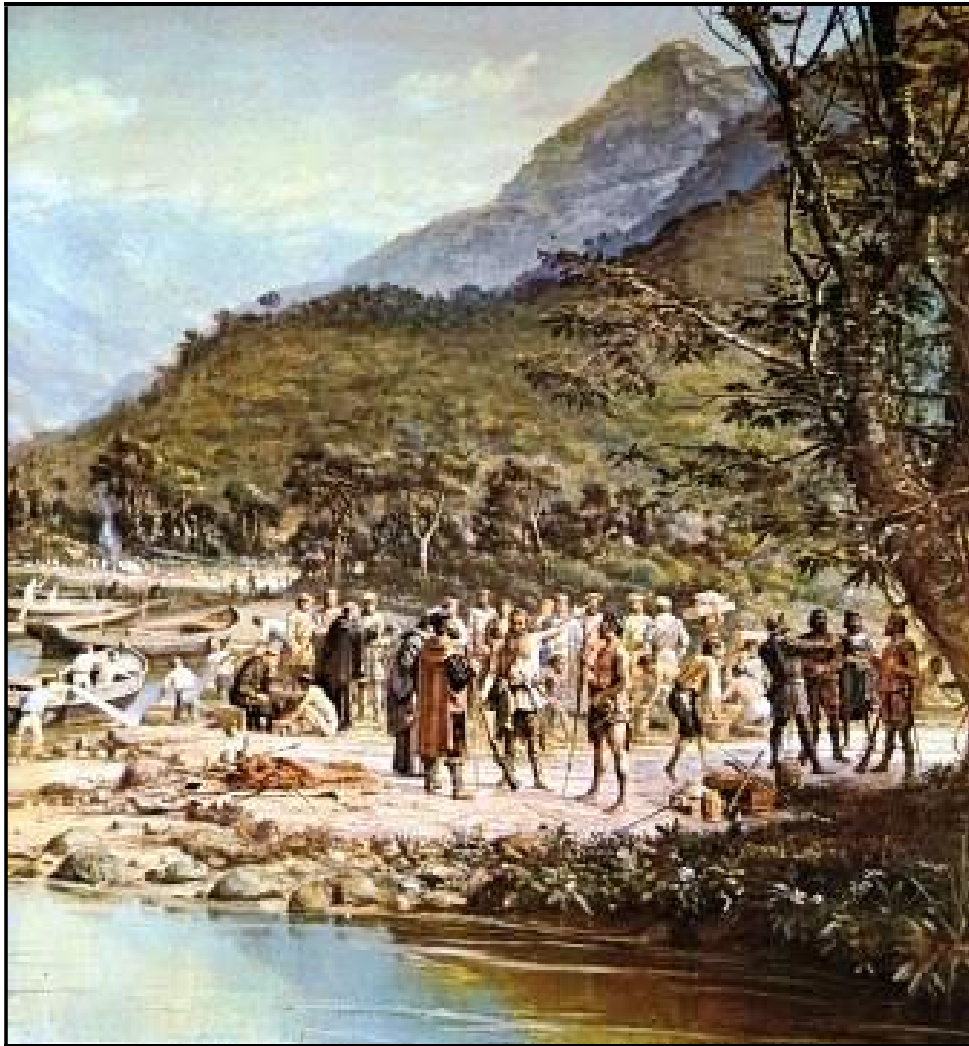
TRILHA DOS TUPINIQUINS

Já é fato bastante conhecido e comprovado que nossos índios, no período pré-colonial, mantinham intenso intercâmbio entre diferentes tribos e culturas. Esse intercâmbio era proporcionado por caminhos permanentes, conhecidos, conservados e defendidos. Dessas estradas antigas, a mais conhecida seguramente é o Caminho do Peabiru. Esse caminho, uma trilha de cerca de 1,40m de largura, partia do Planalto do Piratininga, seguindo inicialmente pelo Vale do Ribeira, alcançando os estados do Paraná e Santa Catarina, Mato Grosso do Sul, estendendo-se ao Paraguai, Bolívia e Peru, em um comprimento total próximo a 3 mil quilômetros.

Há controvérsia entre os historiadores sobre a autoria da abertura do Peabiru. Alguns defendem a veracidade da mitologia indígena segundo a qual o Peabiru foi aberto por Sumé, herói do povo carijó, em sua fuga dos Tupinambás rumo ao Peru. Outros argumentam que a trilha teria sido feita pelos próprios incas para exploração de outros territórios e para acesso ao Oceano Atlântico.

Em 1533 Tomé de Souza, Governador Geral da Colônia, proíbe o tráfego pelo Peabiru para dificultar a ação dos espanhóis.

Quando Martin Afonso de Souza, comandando a primeira expedição portuguesa efetivamente colonizadora, aportou em São Vicente no ano de 1531, já encontrou por aqui, totalmente integrados e com grande poder sobre os índios locais, os antigos degredados João Ramalho, Antônio Rodrigues e Cosme Fernandes, conhecido como “Bacharéu”, comandando um intenso tráfico de escravos índios. Como já foi dito, os índios não habitavam o litoral, mas apenas vinham à orla nos meses frios de junho, julho e agosto para fugir do frio e pescar a tainha e o parati e recolher mariscos, que levavam salgados para suas aldeias no Planalto. Tinham os índios a Serra como uma fantástica e providencial proteção natural contra ataques a suas aldeias do Planalto. Tanto é verdade que Martin Afonso de Souza, com todo o poder que lhe foi deferido pelo Rei João III, foi obrigado a aceitar um acordo com João Ramalho pelo qual os portugueses só poderiam subir a Serra com a explícita aprovação dos índios comandados por Tibiriçá, de quem João Ramalho desposou uma das filhas, Bartira.



Quadro de Benedito Calixto mostrando Martin Afonso de Souza desembarcando em 1532 de canoa em Piaçaguera para subir ao Planalto com João Ramalho pela Trilha dos Tupiniquins. Nessa época, João Ramalho comandava o tráfico de escravos índios a partir de São Vicente e do Planalto, onde estava instalado seu sogro e “sócio”, o cacique Tibiriçá. (Foto reproduzida de fascículo da coleção “Grandes personagens da nossa história”, São Paulo: Abril Cultural, 1969-70)

Pois bem, tanto as cruéis atividades dos primeiros degredados que por aqui se estabeleceram, como esse trânsito indígena sazonal, utilizavam, para a transposição da escarpa da Serra, uma trilha simples, mais tarde batizada pelos colonizadores como Trilha dos Goytacases ou Trilha dos Tupiniquins.



Mapa antigo mostrando a Trilha dos Tupiniquins e o Caminho do Padre José. A Trilha dos Tupiniquins instalou-se nas vertentes do rio Mogi. O Caminho do Padre José utilizou a vertente direita do Rio Perequê para desenvolver seu percurso até o Planalto.

Na verdade a Trilha dos Tupiniquins era também considerada um “ramal” litorâneo do Caminho do Peabiru. Em seu trajeto para o Planalto, essa trilha adentrava a Serra através do Vale do rio Mogi, costeando muito provavelmente sua vertente direita (há historiadores que a situam na vertente esquerda) até a região de Paranapiacaba. Desse local, um ramal possibilitava a comunicação com o Vale do Paraíba, via Mogi das Cruzes, sendo que a trilha principal seguia até o local que hoje corresponderia ao centro antigo de São Paulo, via região do ABC.

Se em regiões planas o caminho do Peabiru mantinha uma largura média de cerca de 1,40m de largura, conforme atestam vestígios ainda existentes no estado do Paraná e em Santa Catarina, as trilhas na Serra eram certamente bem mais estreitas, permitindo, conforme amplamente descrito por seus sofridos caminhantes portugueses, não mais que a passagem de um só homem de cada vez.

O autor do livro, em seus trabalhos na Serra do Mar, especialmente por ocasião dos estudos sobre o traçado da Rodovia dos Imigrantes, no fim dos anos 60, caminhou floresta adentro por várias trilhas tidas ainda como remanescentes de trilhas indígenas. A comparar a Trilha dos Tupiniquins com essas, pode-se afirmar que eram caminhos muito estreitos, sem nenhum afrontamento às encostas, sem sequer a derrubada de uma árvore que pudesse vir a facilitar seus movimentos. Desviando de obstáculos, dando preferência a espigões e às

linhas definidas pelas rupturas negativas de declive entre as encostas retilíneas e o início dos coluviões de meia encosta, essas trilhas eram suficientes para a locomoção típica do índio nessas regiões, qual seja, uma locomoção leve, rápida e que revelava uma total intimidade do índio com a natureza.

Enfim, pode-se dizer que conhecendo empiricamente o comportamento dos terrenos das encostas da Serra, para o estabelecimento de suas trilhas os índios se preocupavam mais com trajetos que lhes proporcionassem maior confiança (espigões e rupturas negativas de declive) do que com as condições técnicas da “pista” (boa largura, rampas suaves, etc.). Refletindo a praticamente nula intervenção nas encostas, não há qualquer menção histórica de algum problema geotécnico que tenha causado dano maior à Trilha dos Tupiniquins.

CAMINHO DO PADRE JOSÉ

O aumento da presença e da ação portuguesa na colônia, e especialmente sua cultura escravagista, acabou por provocar a ira e a revolta de várias tribos indígenas que não se deixaram cooptar como os comandados do Cacique Tibiriçá, poderoso aliado e protetor dos colonizadores.

Entre as tribos indígenas que mais se empenharam no combate aos portugueses estavam os tamoios, que impunham seu domínio do litoral norte do Estado de São Paulo ao Rio de Janeiro. Foi justamente pelos freqüentes assaltos dos tamoios aos usuários da Trilha dos Tupiniquins que Mem de Sá, no ano de 1553, ordena a abertura de um novo caminho, mais a sudoeste, para a ligação entre a região vicentina e os campos de Piratininga, no Planalto. A partir de 1560 todo o tráfego para o Planalto começa a ser feito por essa nova trilha.

É incerta a maior responsabilidade pela abertura do novo caminho. Alguns historiadores a debitam ao arrojo e à dedicação do Padre Anchieta. Outros historiadores a relacionam com uma empreitada comandada por um rico dono de terras, João Perez, como paga do perdão pela morte de um escravo alheio.

Textos históricos afirmam que esse João Perez utilizou seus escravos indígenas na abertura desse novo caminho, optando pelo Vale do Rio Perequê, e aproveitando antiga trilha indígena que por lá existiu.

Tudo indica que, como o anterior (Trilha dos Tupiniquins), esse novo caminho obedecia às mesmas características técnicas das trilhas indígenas, sendo sofridamente percorrido pelos colonizadores, totalmente desacostumados a andares desse tipo. Mais ainda sofriam os escravos indígenas, pois, além das cargas, eram também obrigados a levar em seu ombros os feridos e os exaustos senhores.

Em uma de suas cartas, o Padre Simão de Vasconcellos descreve assim as agruras de suas viagens através do Caminho do Padre José:

“O trilho é tal que põe assombro aos que hão de subir ou descer; o mais de espaço não é caminhar, é trepar de pés e de mãos, aferrados às raízes das árvores; não é caminhando que se faz a maior parte da viagem; é de rostos sobre as mãos e os pés, agarrando-se às raízes das árvores, em meio de rochedos pontiagudos e de terríveis precipícios, que eu tremia, devo confessá-lo, quando olhava para baixo; a profundeza do vale é aterrorizante e o número de montanhas que se elevam, umas por cima das outras, faz perder toda a esperança de chegar ao fim.”

Uma vez galgada a Serra, os viajantes deviam atingir a Vila de São Paulo a pé ou com o auxílio de barcos. Nesse caso, dois caminhos se ofereciam, ou atingindo o Rio Pinheiros a partir de seus formadores, Rio Pequeno e Rio Grande, ou atingindo o Rio Tamandateí, através dos rios de sua cabeceira.

O Caminho do Padre José, desgastado com o intenso aumento de tráfego e pesadas chuvas, teve de ser várias vezes recuperado, sendo que a cada dessas providências ia se aumentando o nível de interferência nas encostas, com pequenos cortes, aterros e estivas, iniciando o longo processo vicioso que caracterizaria por muito tempo os intentos de transposição viária da Serra: mais melhorias ► maiores intervenções nas encostas ► maiores desastres.

NOVO CAMINHO DE CUBATÃO

Como já foi dito, o Caminho do Padre José exigiu seguidos reparos, sendo que a cada reparo aumentavam as intervenções nas encostas, multiplicando os problemas em escala geométrica.

Em 1766, D. Luís Antônio de Souza Botelho Mourão, mais conhecido como Morgado de Matheus, primeiro governador da Província de São Paulo, assim desfiava em carta ao Reino seu descontentamento em relação às condições do caminho:

“...a terra em partes é mais solta e as águas precipitadas pela estreita do caminho, onde encontram menor resistência, rompem os enormes socavões que ali se encontram e daqui vem toda a gravidade do caminho. Todo este erro, que não é impossível remediar, pagam os pobres índios, porque para todas as pessoas levam todas as cargas que vão e vêm continuamente”.

Sentindo o quanto a falta de uma boa condição viária de escoamento de produtos agrícolas e de internalização de produtos manufaturados na metrópole atrapalhavam o desenvolvimento da colônia, Morgado assim insistia, em ofício datado de 21/12/1766 ao conde Oeyras, na necessidade de urgentes melhorias:

“Há entre esta cidade (S. Paulo) e o Porto de Santos hum freqüentíssimo comércio, e tão grande, que por meyo delles se provê de fazendas e mercadorias as Capitânicas de Goyas e Cuiabá, e muita parte das Minas Gerais: sendo tanta a freqüência e tão necessário um caminho público que desse vasão aos transportes tem sido tão negligenciado e descuidado o povo nesta província que deixaria a ley da natureza excede a toda a humana explicação... Tais são as ruínas e precipícios e os caldeirões, e os horrores delles, neste estado achei quando passei a esta cidade, de sorte que, escolhendo hum tempo próprio para o meu transporte subi, trepando a serra tendo por mais seguro o passá-la a pé do que ver-me do perigo de ser precipitado da rede em que me levarão os índios”.

Impedido até de providenciar o transporte de equipamentos militares e munições para o abastecimento da Vila de Piratininga e das várias expedições que adentravam o interior, Morgado de Matheus faz finalmente publicar o seguinte e sugestivo edital em 17 de fevereiro de 1770:

“Porquanto são notórias as ruínas e precipícios com que se acha desbaratado o caminho de Cubatão, e tão grandes as dificuldades que nele experimentam, que têm afugentado dele os viandantes, transportando o comércio a outras partes com notável detrimento do bem comum dos povos, o que constitui uma das maiores causas da decadência e pobreza desta Capitania.

Além disso, acha-se o dito caminho tão interrompido e embaraçado que por ele se faz impraticável o transportar as munições e petrechos que é preciso mover repetidas vezes para as expedições do real serviço.

Vejo que tudo necessita de uma pronta e eficaz providência, para que cessem totalmente os danos e inconvenientes que se padecem há tantos anos.

Ordeno ao sargento-mor Manoel Caetano Zuñiga a fazer imediatamente consertar o dito caminho, para o que lhe dou o poder a fim de que possa obrigar todas as pessoas de

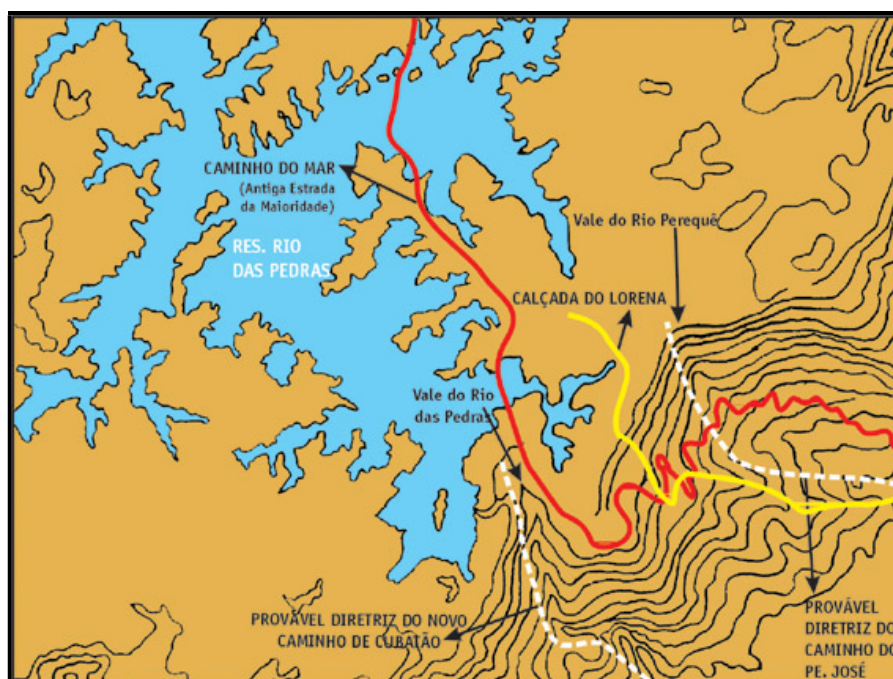
qualquer estado, grau ou condição, que tiverem terras na estrada que vai desta cidade para o Porto de Cubatão, a que logo mandem compor as suas testadas na referida estrada, e a façam por tal modo franca, que não haja o menor embaraço para passarem por ela carros.

E para o referido se tirarão dos armazéns da Vila de Santos as ferramentas necessárias, e para este trabalho se buscarão todos e quaisquer soldados da Praça de Santos, o mestre do "Trem", carpinteiro da Ribeira das Naus com os índios do escaler e todos os negros da fazenda de Cubatão, que pertencem a S. Majestade, o que tudo se unirá a mais gente e escravatura que os donos das testadas trouxerem em sua companhia, e para o referido ordeno a todos os oficiais militares, justiças, oficias de Auxiliares e Ordenanças lhe prestem o auxílio que para o referido lhes for pedido.

O que tudo se cumprirá sem dúvida alguma, sob pena de serem presos todos os que faltaram em executar esta minha determinação”.

A título de curiosidade e para melhor conhecimento do espírito empreendedor de Morgado de Matheus: foi dele o projeto de construção do Caminho Mar a Mar, que ligaria Santos a Belém, missão para a qual ele recrutou diversos cartógrafos do Reino.

Foi então assim aberto o novo caminho de Cubatão ao Planalto, aproveitando-se em parte o traçado do caminho anterior, mas já galgando a Serra através da convidativa vertente esquerda do Rio das Pedras.



Mapa mostrando o Caminho do Mar, a Calçada do Lorena e as prováveis diretrizes do Caminho do Padre José e do Novo Caminho de Cubatão. As crescentes necessidades de transporte e os novos meios de transporte vão exigindo estradas progressivamente mais amplas e com menor declividade. Como resultado, intervenções a cada vez maiores nas encostas da Serra gerando novos e agravando velhos problemas. Um interessante hiato nessa progressão foi representado pela Calçada do Lorena, que abandonou a atitude de

“vencer a Serra”, adotando uma filosofia de projeto que permitiu minimizar fantásticamente os problemas geotécnicos que se poderiam esperar.

Como se pode depreender dos registros de Morgado de Matheus, para a abertura desse novo caminho foi providenciada toda a ajuda técnica disponível na colônia naquele momento, especialmente de carpinteiros e mestres-de-obra. A mão-de-obra fundamental, como não poderia deixar de ser, constituiu-se de escravos indígenas e negros, mas já agora sob ordens e orientações técnicas de brancos “experimentados”.

De acordo com a determinação de Morgado de Matheus, o novo caminho deveria permitir a passagem de carros (truques e carroças), para o que a pista deveria ter ao menos 2 metros de largura. Para sustentar tal intento, foi construída uma infinidade de pequenos arrimos, cortes, aterros e pontes.

Tão desastroso foi esse Novo Caminho de Cubatão, que exigia incessantes reparos sem nunca atender às condições de transporte almejadas por Morgado, que já em 1781, o capitão-general Martim Lopes Lobo de Saldanha, sucessor de Morgado de Matheus, fazia a importante comunicação ao Reino:

“...me obrigou o meu zelo a fazer o caminho que vai desta cidade a Cubatão de Santos, o qual era quase invadiável e não se transitava sem que fosse aos ombros dos índios e sempre em evidente perigo de vida, por se passar por uns apertados tão fundos, nascidos da primeira picada que os primeiros habitantes tinham feito, e tão estreita, que não cabia mais do que uma pessoa ou animal, ficando muitas vezes abafados debaixo da terra que com as chuvas desabava e outros mortos nas profundas covas que com os pés faziam, o que aqui chamam “Caldeirões”, me resolvi a escrever à Câmara desta Cidade, à de Santos, Itu, Atibaia, Sorocaba, Parnaíba, Jundiá, Mogi-Mirim e Mogi-Guaçu, uma carta, cuja cópia vai inserta, de que resultou darem-me o donativo gratuito de 2:668\$905 réis com que dei princípio ao sobredito caminho no mês de maio do corrente ano e tenho quase vencido, porque espero até o fim deste mês completar o melhor de toda a América e ainda de muitos da Europa, tendo-se-lhe formado infinitas pontes das mais duráveis madeiras, confessando todo este povo que, em um século, nem estas, nem o caminho poderão ser arruinados.”

Como se poderia facilmente imaginar, os fantásticos sonhos do ingente capitão-general não se realizaram.

O depoimento a seguir transcrito, de Frei Gaspar da Madre de Deus, sugere o insuportável grau de dificuldades e problemas geotécnicos enfrentados pelos que se arriscavam a transitar pelo Novo Caminho de Cubatão:

“...um caminho, ou para melhor dizer, uma caverna tortuosa, profunda, e tão apertada que nos barrancos colaterais se viam sempre reguinhos abertos pelos cavaleiros, os quais não podiam transitar, sem irem tocando com os estribos naqueles formidáveis paredões; caverna na qual permaneciam em todo tempo de graus de terra escorregadiça, e alguns tão altos que às bestas era necessário vencê-los de salto quando subiam e arrastando-se quando desciam; uma viela lodosa, quase toda cheia de atoleiros, que sucediam uns aos outros, com breves interpolações de terreno povoado de pedrinhas facilmente deslocáveis, que mortificavam os viajantes de pé, e constituíam aos animais um perigo evidente de escorregarem e caindo arrojarem os cavaleiros, e cargas, como sucedia muitas vezes; uma passagem rodeada de despenhadeiros, que obrigavam aos caminhantes irem com muito

tento para não se precipitarem; enfim um passo laboriosíssimo, uma série contínua de perigos foi a serra noutra tempo”. (in Ensaios da História Paulista – Anais do Museu Paulista, tomo X)

Pode-se afirmar que o Novo Caminho de Cubatão inaugurou de fato e de direito o desastroso afrontamento da Serra por uma cultura tecnológica que não possuía experiência nem conhecimentos acumulados na implantação de obras em regiões serranas tropicais, adotando uma atitude que renderia muitos e onerosos desastres no futuro de novas transposições viárias: “vencer a Serra”.

Um bom hiato nessa seqüência de desastres geotécnicos foi representado pela implantação da nova transposição viária Baixada–Planalto, a famosa Calçada do Lorena, que veremos a seguir.

CALÇADA DO LORENA

Uma série de fatores já enumerados, mas especialmente as pressões para o estabelecimento de condições de um rápido e seguro transporte do açúcar produzido no interior paulista para os portos da Baixada tornaram inadiável a abertura de uma nova estrada de ligação entre São Paulo e Cubatão.

Uma casualidade histórica veio permitir que essa nova estrada contasse com um suporte tecnológico de primeiríssima qualidade para a época. Bernardo José de Lorena, governador da Capitania de São Paulo entre os anos de 1788 e 1798, teve o admirável vislumbre de trazer para a colônia um grupo de oficiais do Real Corpo de Engenheiros de Portugal, que acabara de terminar seus trabalhos de reconstrução de Lisboa, destruída pelo terremoto de 1755.

Entre outras missões, Lorena encarregou esses oficiais, comandados pelo engenheiro militar João da Costa Ferreira, de projetar e construir a desejada nova estrada.

Foram então realizados pioneiros levantamentos cartográficos e hidrográficos na região, e após muitas avaliações das experiências anteriores optou-se por assentar o traçado ao longo da crista de um espigão, evitando-se encostas e vales. O espigão escolhido foi o divisor de águas entre o Rio das Pedras e o Rio Perequê.

Para uma máxima redução possível da declividade, o traçado foi desenhado em ziguezague, apresentando 180 ângulos (“cotovelos”) da base ao alto da Serra.

Como o projeto previa o transporte por tropas de mulas, foi estabelecida uma largura média de 3 metros, sendo a pista completamente calçada com grandes pedras, provavelmente trazidas de pedreiras de Santos, assentadas sobre uma camada de cerca de 10cm de saibro e pedregulhos. Revelando a excelência dos cuidados técnicos, esse calçamento foi projetado em forma de “V”, para que as águas de chuva corresse sobre as pedras sem risco de erodirem as laterais.

A Calçada do Lorena é iniciada em 1790 e inaugurada em 1792.



Foto da Calçada do Lorena, tirada após os serviços recentes de recuperação histórica, mostrando o calçamento em pedras e sua sábia “filosofia de projeto”, qual seja, um traçado zigzagueando a crista de um espigão, evitando as vertentes dos vales, sabidamente mais instáveis. Notar o inteligente expediente técnico de, por geometria em “V”, fazer com que as águas escoassem pelo centro da pista, onde eram colocadas pedras maiores, para evitar a erosão nas bordas terrosas. (Foto EMAE — Empresa Metropolitana de Águas e Energia)

A inteligente opção de construir a estrada assentada na crista de um espigão, por constituir essa a situação de maior estabilidade geotécnica entre as diferentes morfologias de relevo da Serra do Mar, e o fato conseqüente de exigir uma baixa intervenção no terreno, ou seja, poucos cortes e arrimos, possibilitaram que a Calçada de Lorena desse trânsito seguro a tropas de até 300 mulas por mais de 50 anos, com formidáveis resultados econômicos para a província.

Trabalhos recentes de investigação e recuperação disponibilizaram vários trechos da Calçada do Lorena para visita pública.

Foi pela Calçada do Lorena que D. Pedro I subiu para São Paulo em 7 de setembro de 1822 para proclamar a independência do Brasil.

O relato do historiador Francisco Martins dos Santos revela alguns curiosos hábitos da época:

“E por essa nova estrada, em que as tropas transitavam com segurança, em setembro de 1789, Lorena enviava ao Reino, de presente, uma indiazinha apanhada nos sertões de Curitiba, e alguns quadrúpedes e pássaros e várias coisas em três caixotes numerados, entre os quais iam alguns trastes que se achavam no alojamento dos gentios, e três pitos dos antigos paulistas...”

O famoso naturalista francês, Auguste de Saint-Hilaire, nos relatos da viagem que empreendeu ao Brasil entre os anos de 1816 e 1822, baseando-se em Kidder e Eschwege, assim registrou suas impressões sobre a Calçada do Lorena:

“Nas proximidades do Arraial de Cubatão já se começa a subir a serra. O caminho que leva ao seu cume é solidamente pavimentado, mas estreito, e embora seja todo traçado em curvas de cento e oitenta graus é de tal forma íngreme que só pode ser percorrido por pessoas a pé, cavalos e burros. Ele foi aberto numa espécie de saliência formada pela serra, e de ambos os lados um riacho se precipita numa ravina profunda. Em alguns pontos, ao olharmos para cima, os rochedos que se projetam para a frente, e sobre os quais o caminho faz mil voltas, dão-nos a impressão de uma fortaleza ameaçadora. Olhando para baixo nossa vista se perde em um aterrador abismo... O percurso até seu topo é feito entre uma hora e meia e duas horas.”

ESTRADA DA MAIORIDADE

O fim do século XVIII e o início do século XIX foram marcados por um grande surto de desenvolvimento paulista, já refletindo a opção pela agricultura em substituição à fase da busca do ouro e do aprisionamento de escravos índios, como também a boa resposta das férteis terras do interior do Estado.

Especialmente a partir de 1800 reativa-se a produção açucareira da região de Campinas, Itu e Porto Feliz, com o volume total de exportações pelo Porto de Santos passando de 13.000 arrobas em 1801 para perto de 300.000 arrobas em 1830. O mesmo salto de produção observa-se no café, cuja produção já atinge 590.000 arrobas em 1836, saltando para 3.534.000 arrobas em 1854, deslocando, já nas primeiras décadas do século XIX, sua área agrícola do Vale do Paraíba para o eixo Campinas–Franca, e portanto elegendo Santos como seu porto de exportação mais favorável.

Da mesma forma, e como conseqüência do surto de desenvolvimento, as importações de produtos manufaturados e ferramentas tiveram um enorme salto nessa época, de tal forma que diante de tão reais e legítimas pressões para o melhoramento das condições de transporte viário entre São Paulo e Santos, a administração pública decidiu por fim determinar a abertura de uma nova estrada de transposição da Serra, com características técnicas que tornassem possível o tráfego de veículos como carroções e diligências, ou seja, superiores às acentuadas rampas da segura Calçada do Lorena, que por esse aspecto permitia apenas a passagem de tropas de muares.

Dessa forma, já em fins da segunda década do século XIX, Almeida Torres, presidente da Província, providenciava o início dos trabalhos de definição do traçado da nova estrada, para o qual se escolheu um desenvolvimento ao longo dos vales dos rios das Pedras e Perequê.

Como parte desse propósito, marcando um passo importantíssimo para a engenharia brasileira, em 1835 a Assembléia Provincial aprovou lei criando uma escola de formação de pessoal técnico denominada Gabinete Topográfico. Foi essa escola a responsável pelo projeto e pela conclusão da Estrada de Maioridade. Em 1836, o marechal do Corpo de Engenheiros, Daniel Pedro Muller, foi encarregado de comandar os trabalhos da nova estrada.

No entanto, foi com a determinação do Brigadeiro Rafael Tobias de Aguiar que a partir de 1841 os trabalhos foram acelerados, sendo a estrada finalmente concluída sob o comando do Engenheiro João Bloem, em 1844. Após sua conclusão foi percorrida por D. Pedro II em coche imperial, o que lhe valeu o nome oficial.

A Estrada da Maioridade apresentava na Serra uma largura média de 4,5 metros e rampas máximas de 10%. Foi implantada essencialmente por meio de cortes nas encostas e várias estruturas de arrimo. Sua pista foi encascalhada ao longo de toda a extensão.

Desde sua inauguração, a Estrada da Maioridade apresentou enormes e crescentes problemas técnicos. As intervenções nas encostas geraram uma série de situações de grande instabilidade, e o encascalhamento da plataforma e os sistemas de drenagem superficial não se mostraram suficientes para evitar os enormes estragos provocados pela erosão das abundantes águas pluviais. Por muito tempo, a intenção de viabilizar o tráfego contínuo de carroções e carruagens não se concretizou plenamente.

Várias interdições e intensos serviços de manutenção marcaram toda a história da Estrada da Maioridade, justificando as desesperançadas palavras de Nabuco de Araújo,

presidente provincial, no início da segunda metade do século: “...é fora de dúvida que a estrada da Maioridade, do cume da Serra até o Cubatão, não será jamais uma estrada normal e própria para a rodagem”... (dado que era)... mal construída e incapaz de uma reforma”.

Entre os anos de 1862 e 1864, por decisão do presidente provincial Vicente Pires da Motta, José Vergueiro assume a direção e a administração da Estrada da Maioridade e comanda a realização de extensas obras de recuperação. Essas obras incluíram, na Serra, o alargamento de alguns trechos da pista, a redução de rampas e trechos macadamizados. No Planalto houve a definição de um novo traçado, que recebeu a denominação de Estrada do Vergueiro, por um trecho da qual corre hoje a Rua do Vergueiro na capital paulista. As obras implementadas por Vergueiro deram um bom fôlego à estrada, mas à custa ainda de infindáveis serviços de manutenção, até que no ano de 1868 chuvas de enorme intensidade provocaram danos de tal monta à Estrada da Maioridade no trecho da Serra, com inúmeros escorregamentos e destruição da pista em inúmeros lugares, que levaram à sua total intransitabilidade.

Em 1867 começam a correr os trens da recém-implantada Estrada de Ferro Santos–Jundiaí, fato que, diante das péssimas e insuperáveis condições geotécnicas, veio relegar a Estrada da Maioridade a um quase completo abandono, uma fase que ficou marcada pela progressiva falência dos serviços de diligências e carroções e pela substituição das tropas de muares pelas locomotivas a vapor.

O ATERRADO DE CUBATÃO

O Aterrado de Cubatão não é propriamente uma obra executada na escarpa da Serra do Mar, mas sim na Planície Costeira que separa a escarpa do Porto de Santos. Sua dificultosa execução deu-se como decorrência do mesmo objetivo que orientou a execução da Calçada de Lorena, qual seja permitir que tropas de muares transitassem sem maiores problemas entre São Paulo, no Planalto, e o Porto de Santos, na Baixada.

A origem de Cubatão, litoral do Estado de São Paulo, está associada a dois fatores geológicos bastante distintos. O primeiro, a enorme muralha da Serra do Mar, impondo desde os tempos coloniais imensas dificuldades para a circulação de bens e indivíduos entre o Planalto de Piratininga e o Porto de Santos, aqui incluindo os núcleos urbanos de Santos e São Vicente. O segundo fator refere-se à dificuldade natural de, a partir do porto e dos primeiros núcleos urbanos da Baixada, atingir-se o “pé-de-serra”, dada a profusão de canais, rios, e manguezais que separam esses dois destinos.

Essa ordem de dificuldades obrigou por todo o período colonial que a ligação entre o pé-de-serra e o Porto de Santos só pudesse ser vencida através de barcos, o que envolvia pesados custos com pagamento de taxas de pedágio e aluguel de armazéns e barcos, como com os enormes riscos do tombamento ou do encalhe das embarcações, da perda das cargas por seu afundamento ou, especialmente no caso do açúcar, por seu molhamento e dissolução.

O porto de transbordo ficava à margem esquerda do rio Cubatão, ao longo da qual deslocou-se de acordo com a seqüência dos diferentes caminhos que procuravam, no decorrer do tempo, melhorar as condições de subida da serra.

Foram justamente esses pequenos portos, à margem esquerda do Rio Cubatão, pontos de transbordo de homens e mercadorias dos barcos para os ombros de escravos índios e negros e lombos de mulas, abrigando operações inversas para os que, do Planalto demandavam o litoral, que resultaram os primeiros núcleos urbanos que, com o passar dos tempos, vieram a dar origem à cidade de Cubatão.

Donde por muito tempo, Cubatão não teve uma vida própria. Era um ponto obrigatório de passagem, apenas um local de transbordo, pagamento de taxas e registro de trânsito de homens e mercadorias, operação comercial inicialmente explorada pelos jesuítas e, após a expulsão desses de Portugal e suas colônias em 1759, pela própria Coroa ou por particulares arrendatários.

Essa função perdeu por mais de 300 anos, e só viria a se alterar com a inauguração do Aterrado de Cubatão em 1827, obra que possibilitou o transporte contínuo por terra do Porto de Santos ao pé da serra, e daí a São Paulo, sobre ombros de escravos e lombos de mulas, sem necessidade de nenhuma operação de transbordo de mercadorias.

Com o grande aumento de transporte de carga, especialmente o açúcar, possibilitado pela Calçada do Lorena, inaugurada em 1792, primeira estrada calçada que proporcionou a transposição da serra com alguma segurança, Cubatão apresenta um considerável surto de desenvolvimento. Cresce enormemente o movimento e a importância do Porto Geral de Cubatão, o que incluiu a ocupação também da margem direita do Rio Cubatão por uma série de instalações e serviços como barracões, ranchos, estalagens, armazéns, oficinas de barcos, pastagens e trato de muares, etc.

A construção de um aterro e um conjunto de pequenas pontes que livrasse o transporte de mercadorias do trajeto Porto de Santos – pé-de-serra da necessidade compulsória do uso de operações de transbordo, com todos seus custos e riscos envolvidos, velha e insistente

reivindicação dos comerciantes de São Paulo e Santos, impunha-se agora como empreendimento inadiável.

Em 1798, como fruto de uma campanha liderada pelo Capitão-general Antônio Manoel de Melo Castro e Mendonça, é iniciada a construção da tão desejada obra, no entanto, logo mais à frente abandonada dadas as enormes dificuldades técnicas e financeiras envolvidas, uma vez que o aterro, sob a tecnologia da época, implicava em cestos de terra e pedra transportados na cabeça de escravos sob as mais perigosas e insalubres condições físicas e ambientais dos mangues da Baixada. Calor úmido abafado e insuportável, mosquitos, animais peçonhentos, doenças próprias do ambiente, extenuante esforço físico, constituíram os fatores que afugentavam empregados assalariados e obrigavam que o empreendimento fosse essencialmente realizado pela mão-de-obra escrava.

Somente bem mais tarde, no ano de 1827, durante a administração de Lucas Antônio Monteiro de Barros, Presidente da Província de São Paulo, e sob o comando do notável engenheiro Daniel Pedro Muller, o Aterrado foi concluído, constituindo-se de 13km de aterro e 4 pontes, coincidente hoje com o que seria o eixo longitudinal da histórica Avenida Nove de Abril na cidade de Cubatão. Uma obra extremamente penosa e tecnicamente arrojada para a tecnologia da época, à qual, a vida humana de escravos e trabalhadores contratados pagou altíssimo preço.



Foto antiga do aterrado. Sem registro de origem.

Constituiu-se o Aterrado em uma das primeiras grandes obras da engenharia viária brasileira construída sobre solos moles. No caso, essencialmente camadas de argilas marinhas e continentais, em sua maior extensão subaquáticas, com baixíssima capacidade de sustentação. Pela tecnologia disponível na época, o Aterrado foi construído com o simples lançamento de solo e pedras provindos das bordas da Serra e de morros isolados. É provável que esse material de empréstimo fosse lançado sobre o terreno estivado, ou seja,

coberto por paus e galhos trançados, de forma a melhor distribuir as pressões do aterro sobre os solos moles. Os serviços de reposição de material por afundamento brusco e recalques lentos do aterro, e mesmo por destruição de bordas pelas marés e rios, mostraram-se de dimensão tão inesperada para os construtores que as lidas com a reconstrução de aterro e pontes assumiram necessidade de gastos comparáveis à própria construção da tão necessária obra. Como ordem de grandeza da dimensão do cruel e insano trabalho humano aí alocado, pode-se calcular que o Aterrado, entre construção e manutenção, tenha consumido em seus trechos do pé-de-serra até a margem esquerda do rio Cubatão e da margem direita desse rio até proximidades do Porto de Santos, algo como 300 mil metros cúbicos de solo e pedras, o que resultaria em 10 milhões de cestos de solo e pedra individualmente carregados e lançados por ombros escravos.

Com a inauguração do Aterrado, Cubatão entra em um período de decadência pela perda de suas funções portuárias e alfandegárias. A vila ainda reteve as funções de posto de registro de mercadorias e pessoas que circulavam entre o planalto e o Porto de Santos, mantendo também as naturais instalações de um ponto de pé-de-serra, com seus armazéns, depósitos, currais e pastos para mulas, oficinas de carroções, etc. No entanto, Cubatão só vai realmente recuperar seu ímpeto de desenvolvimento nas décadas de 20 e 40 do séc. XX, quando da instalação da Usina hidrelétrica Henry Borden, da Companhia Santista de Papel, da construção do Caminho do Mar e da Via Anchieta, culminando com a instalação, já na década de 50, da Refinaria Presidente Bernardes e da siderúrgica COSIPA.

Estava enfim aberta a via que conduziria Cubatão a se tornar, em pouco tempo, um dos mais importantes pólos industriais (especialmente petroquímico) do país. O Aterrado faz parte dessa história.

ESTRADA DE FERRO SANTOS–JUNDIAÍ

Já na década de 1830 não havia mais dúvida entre os paulistas sobre a conveniência e necessidade de uma estrada de ferro que ligasse o interior do Estado com o porto de Santos. A espetacular produção de café estava correndo o risco de ficar sufocada por falta de uma boa logística de transporte para seu escoamento.

*Em 1855, o Conselheiro José Antônio Saraiva, presidente da província, calculava em dois milhões e meio de arrobas a produção do café, açúcar e outros gêneros que deviam ser transportados pela estrada projetada e em um milhão de arrobas a quantidade de gêneros importados; portanto, três milhões e quinhentas mil arrobas transportáveis pela via férrea. Isto, sem calcular o transporte de passageiros, cujo número seria avultado, pois transitavam anualmente pela barreira do Cubatão cerca de quarenta mil cavaleiros. (“Vias de Comunicação”, in *História Geral da Civilização Brasileira*)*

Incorporando a vontade coletiva, dois homens foram fundamentais para a conclusão desse projeto. Pela viabilização financeira e empresarial do empreendimento, Irineu Evangelista de Souza, o Barão de Mauá. Pela viabilização técnica do que veio a se constituir uma verdadeira epopéia da engenharia, o jovem engenheiro inglês Daniel Makinson Fox.

Mesmo sujeito à falência da empresa com que participava no empreendimento (Robert Sharp e Filhos), foi Mauá que conseguiu em 1856 a concessão do Governo Imperial, providenciou os primeiros estudos, levantou os recursos iniciais necessários e articulou a participação dos ingleses, por intermédio do então considerado maior especialista ferroviário da Inglaterra, James Brunlees. Brunlees, por sua vez, escolheu para comandar o projeto e a implantação da obra Daniel Makinson Fox, por sua recente experiência ferroviária nas regiões montanhosas do País de Gales e nos Pirineus.

Com a estranha falência da empresa de Mauá, os ingleses comandaram empresarialmente sozinhos a implantação do empreendimento, em negociação que lhes proporcionou cláusulas contratuais extremamente vantajosas com o governo brasileiro, entre elas o monopólio exclusivo do transporte ferroviário para o porto de Santos durante 90 anos.

Em 1858, com apenas 26 anos, Makinson Fox desembarca no Brasil para iniciar os estudos da nova ferrovia e levar seus planos à aprovação de Brunlees. Havia uma condição-limite de ordem financeira imposta pelas combinações anteriores: o empreendimento não poderia ultrapassar a soma de 2 milhões de libras esterlinas.

Ao tentar obter nas mais variadas repartições dados cartográficos e geográficos gerais sobre a Serra do Mar, Fox logo percebeu que teria de partir quase do zero no que toca a informações técnicas mais consistentes sobre a região. Mas foi de sua primeira expedição “a campo” que o jovem Fox chegou à beira do desespero. Nunca havia visto uma natureza como aquela. Praticamente sem caminhos de acesso, com uma floresta tropical úmida tão fechada que não lhe permitia as necessárias vistas panorâmicas, com um relevo tão acidentado que tornava qualquer tentativa de exploração antes de mais nada um esforço físico sobre-humano, com enormes riscos de graves acidentes. Sem contar o inferno particular proporcionado por toda sorte de insetos, especialmente pernilongos e borrachudos.

Foi nesse ponto que a juventude, a tenacidade e o espírito explorador de Fox superaram as incertezas para a decisão de “tocar em frente o projeto, fossem quais fossem as dificuldades”.

Reunindo um grupo de técnicos e trabalhadores braçais, Fox internou-se por meses na Serra do Mar, investigando toda a região à busca da melhor rota para a futura estrada. Nessas expedições chegou a usar antigas trilhas indígenas das vertentes do Vale do Rio Mogi, mas, se essas lhe facilitavam a locomoção, pouco lhe ajudavam a obter o que mais almejava, qual seja, uma condição de vista panorâmica sobre toda a área. Meses se passaram e o jovem engenheiro inglês não conseguia reunir informações suficientes para a definição do traçado. Foi quando o acaso lhe ajudou. Em uma de suas expedições, já exausto como todo o seu grupo, resolveu parar em uma drenagem lateral do Rio Mogi para um merecido descanso. Nessa drenagem havia uma grande cachoeira, que Fox resolveu atingir pelo seu extremo superior. E foi desse local que ele conseguiu ter sua tão cobiçada visão panorâmica de um razoável trecho do vale do Rio Mogi. Ali tomou sua decisão: a futura estrada de ferro desceria do Planalto para a Baixada pela vertente esquerda do Mogi.



Vertente esquerda do Vale do Rio Mogi mostrando as duas pistas ferroviárias da E.F. Santos–Jundiaí: a primeira Funicular (abaixo), que hoje recebe o sistema Cremalheira, e a segunda Funicular (acima). Notar a extensa faixa desmatada, que muito contribuiu para potencializar instabilizações, e o sistema superficial de drenagens implantado pelos ingleses. Notar também a maior frequência de túneis e viadutos no traçado da segunda Funicular, o que representou um avanço de concepção, mas não suficiente para livrar este traçado do martírio dos escorregamentos. (Foto Arquivo IPT)

Mas não se resolveram aí todos os problemas de Fox. Estava claro para ele que, pelas condições geológicas da Serra, pelo desnível de perto de 800 metros a ser vencido e pela extensão que deveria ter a futura estrada para manter rampa em torno de 2%, compatível com o sistema de simples aderência, o orçamento fixado não seria suficiente. Fox foi ousado mais uma vez, e pensou em um projeto que lhe atenderia essas duas preocupações técnicas: utilizaria a tecnologia do sistema mecânico funicular, o que lhe

permitiria trabalhar com rampas em torno de 10%, encurtando em muito o trajeto necessário e “tirando” o traçado da Serra o mais rápido possível.

Voltando à Inglaterra, mostrou seus dados e propostas a Brunlees, que os aceitou de imediato, não sem antes, matreiramente, conseguir mais algumas facilidades do governo brasileiro.

Em 1860 são iniciadas as obras, para as quais os ingleses trouxeram ao Brasil dezenas de engenheiros e técnicos ferroviários, utilizando pela primeira vez, em substituição à mão-de-obra escrava, trabalhadores assalariados, em grande parte imigrantes italianos.

Como era de se esperar, mas ultrapassando em muito as expectativas dos ingleses, a implantação do trecho da Serra foi extremamente desgastante e traumática diante dos inúmeros e enormes problemas geológico-geotécnicos encontrados. Escorregamentos de toda a ordem punham a perder serviços já tidos como prontos, explosivos não eram utilizados por temor de desmoronamentos, sendo as escavações em rocha executadas por meio de cunhas e pregos batidos com britadores. Cortes de mais de 20 metros de altura foram comuns, exigindo dos ingleses a execução de enormes muros de contenção em alvenaria. Cuidado especial tiveram com os sistemas superficiais de drenagem, até hoje tidos como obra de “verdadeira ourivesaria”.

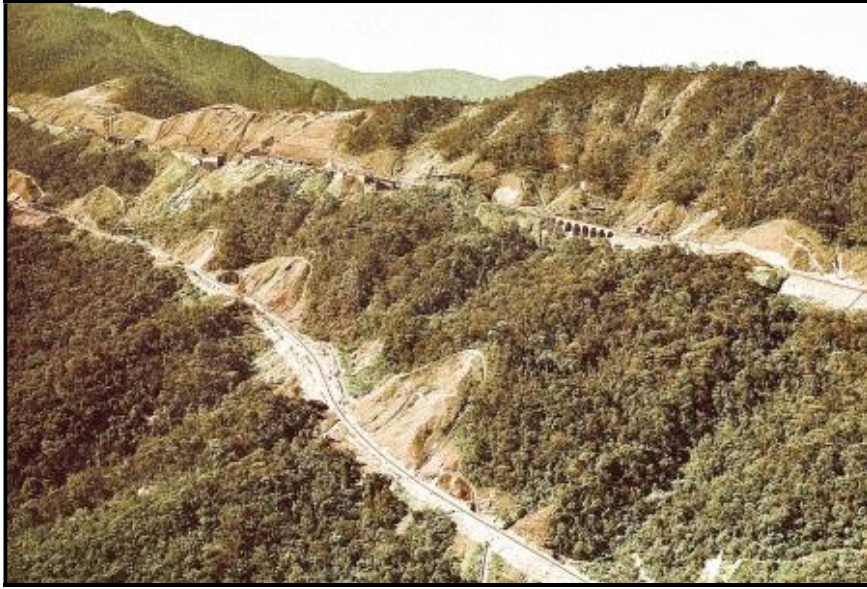
Mas, por fim, em 1867 era oficialmente inaugurada a São Paulo Railway, que, apesar dos inúmeros e gravíssimos problemas de implantação e dos incessantes problemas de estabilidade de taludes que apresentaria no decorrer de todos os seus longos anos de operação, proporcionou as primeiras condições reais para que São Paulo, enquanto cidade e economia, rompesse efetivamente o período de franco isolamento geográfico que a escarpa da Serra do Mar lhe impôs.

Não por outro motivo, a cidade de São Paulo passava de seus 25.000 habitantes em 1870 para 47.500 em 1886 e 240.000 em 1900.

Funicular e Cremalheira

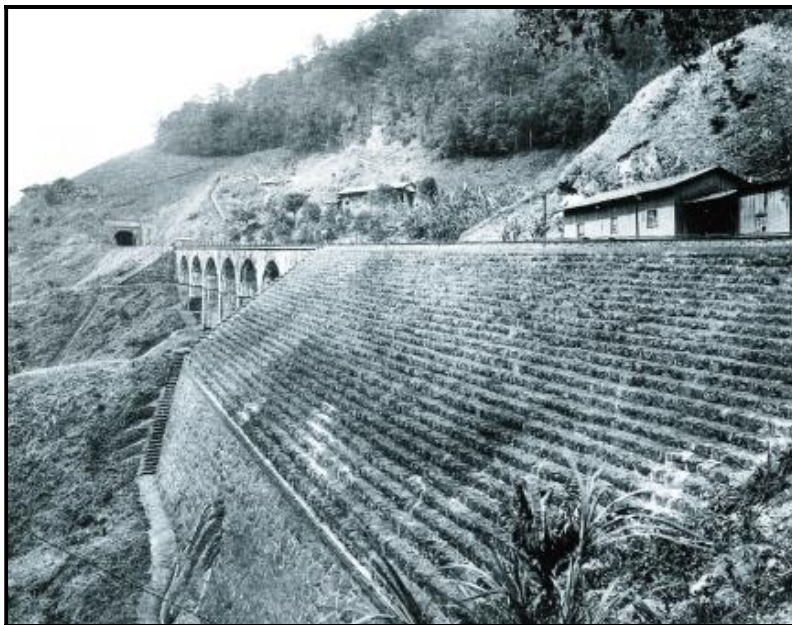
A primeira linha férrea de Santos a Jundiaí venceu os quase 800 metros de desnível da Serra através do sistema mecânico funicular, que consistia de 4 planos inclinados, com rampa média de 10% e 4 patamares onde casas de máquinas fixas tracionavam as composições por meio de um fortíssimo cabo de aço. O sistema possibilitava a composição de esforços entre trens que subiam e desciam a Serra sincronizadamente. Essa primeira linha, que ficou conhecida como “Serra Velha”, cumpria a transposição da Serra em 8km em uma confortável e segura bitola de 1,60m.

Com o constante aumento de demanda de cargas de subida e descida da Serra, em 1885 a São Paulo Railway decidiu pela implantação de uma segunda linha, também no sistema funicular, mas que proporcionasse uma maior velocidade de percurso. Essa segunda linha, inaugurada em 1901, semiparalela à primeira, instalada também na vertente esquerda do vale do Rio Mogi, consistia de 5 planos inclinados, com rampa média de 8% de inclinação. O percurso foi estendido para 10km, mas com os trens podendo carregar uma maior tonelagem e atingir velocidades de até 25km/h.

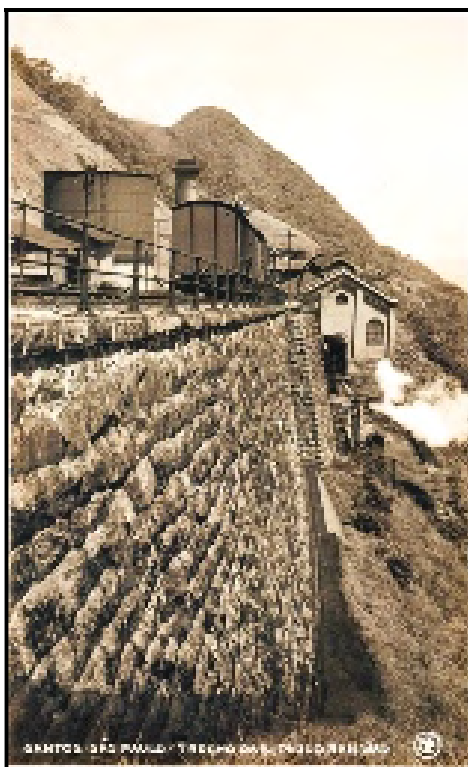


Outra vista panorâmica da vertente esquerda do vale do Rio Mogi, mostrando os dois traçados implantados, com suas extensas faixas desmatadas e grande nível de interferência nas encostas. Notar as cicatrizes de escorregamentos próximas à crista do espigão. (Foto Arquivo IPT)

Com as duras lições obtidas na implantação e manutenção da infra-estrutura da “Serra Velha”, que apresentava como obras-de-arte apenas dois viadutos, sendo o restante do percurso implantado por meio de cortes na encosta, a nova funicular contou com a providência de 16 viadutos e 13 túneis, procurando reduzir a necessidade de grandes cortes, cujas obras de contenção chegaram a alcançar 50 metros de altura.



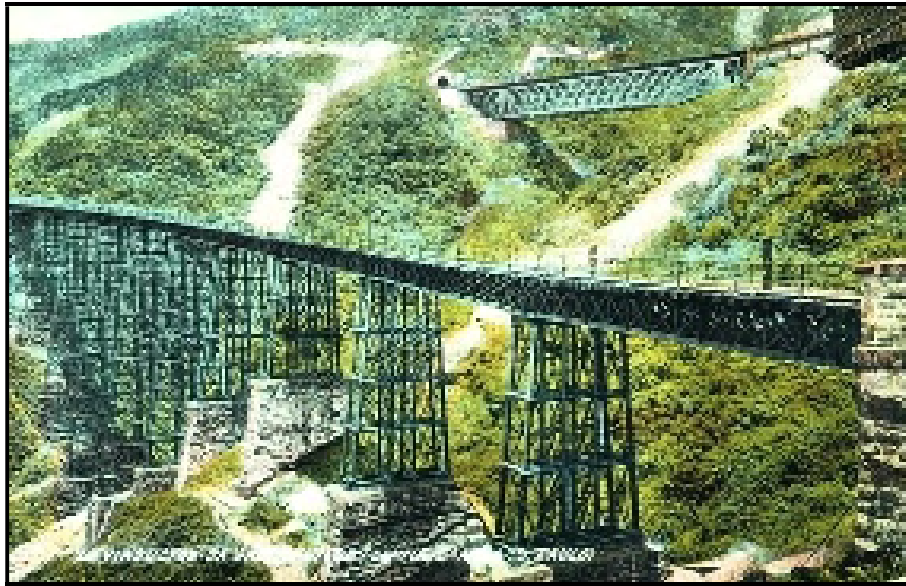
*Para o enfrentamento dos problemas geológico-geotécnicos do trecho Serra do Mar os ingleses se valeram dos mais variados tipos de obras, inclusive as de alvenaria. Na foto, aterro contido e revestido por pedras rejuntadas e, ao fundo, viaduto de alvenaria em arcos. (Foto Livro *The Very British Railway*)*



Muros de gravidade construídos com pedras rejuntadas constituíram obra empregada com relativo sucesso pelos ingleses no trecho de serra. (Foto de 1930, Acervo Maria Cecília França Monteiro da Silva)

Certamente esses cuidados técnicos colaboraram para a redução de acidentes geotécnicos, mas não o suficiente. A segunda linha também sempre operou em condições de segurança extremamente precárias ante à frequência com que ocorriam rupturas de taludes. Com a agravante de que suas próprias instabilidades agora, em não raras situações, acabavam por atingir a primeira linha, que lhe corre em paralelo algumas dezenas de metros abaixo.

Em 1970 a Estrada de Ferro Santos–Jundiáí inicia a implantação de um novo sistema de tração ferroviária na Serra. Aproveitando a plataforma da primeira funicular, é implantado o sistema cremalheira, que consiste na instalação de uma “correia” tri-dentada de tungstênio entre os trilhos, que se acopla a uma roda dentada instalada na locomotiva. Com o sistema cremalheira a capacidade máxima de tração é aumentada para 250 toneladas, e as velocidades médias, para 28km/h em subida e 22km/h em descida. Esse sistema é inaugurado em 1974, depois de anos de atraso devido aos grandes problemas causados por gigantesco escorregamento ocorrido em fevereiro de 1971 em um vale denominado Grota Funda, o qual comprometeu drasticamente os pilares de fundação dos viadutos aí presentes. (vide depoimento adiante).



Viadutos da 1ª (abaixo) e 2ª (acima) funiculares atravessando a famosa ravina da Grotta Funda. Já em 1910, sinais evidentes de instabilidades nas encostas, provocados pelo extenso desmatamento e pelos serviços relacionados à construção e manutenção da ferrovia. (Foto Acervo Maria Cecília França Monteiro da Silva)

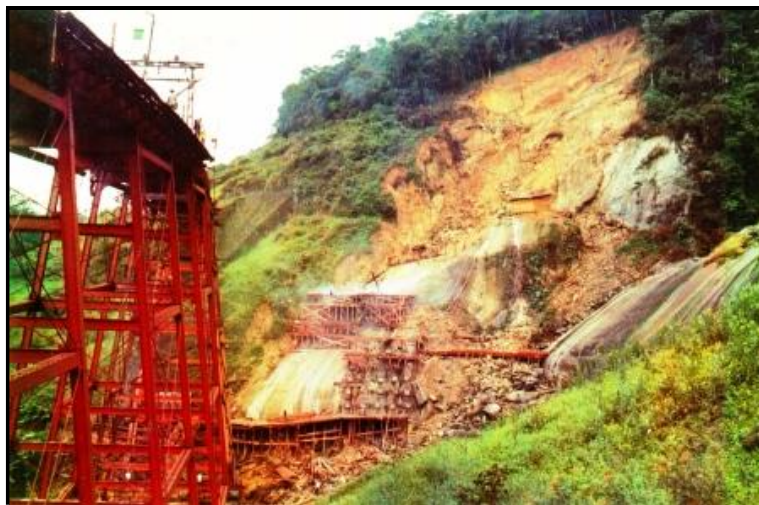
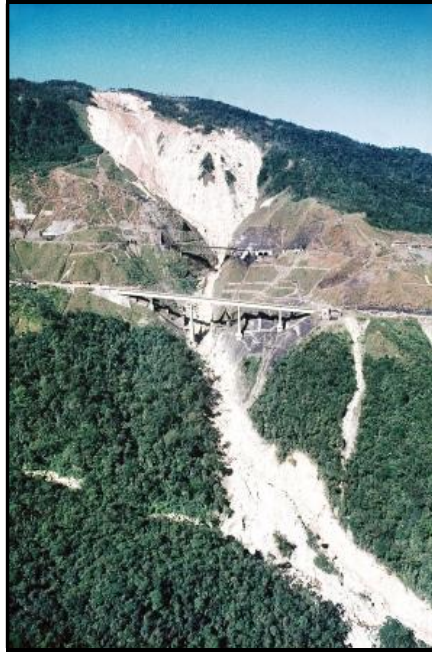


Foto tirada em 1971 durante os trabalhos de reconstrução do viaduto que teve suas estruturas abaladas pelo grande escorregamento da Grotta Funda ocorrido nesse ano. Notar o espesso manto de saprolito com blocos de rocha desestabilizado pela implantação da ferrovia. O escorregamento está associado aos diferentes graus de alteração da rocha, à posição geométrica desfavorável das estruturas geológicas da rocha e à presença de uma nítida interface entre o saprolito e o horizonte inferior da rocha sã. As interferências da construção no terreno e o extenso desmatamento no local foram os fatores deflagradores da instabilização. Esse escorregamento pode ser classificado como um típico colapso em saprolito fraturado. (Foto Paulo A. Andrade)



Vista frontal nos anos 80 mostrando a continuidade remontante do fantástico escorregamento da Grotta Funda, responsável pela destruição de pilares do viaduto inferior e por várias interrupções de tráfego da E. F. Santos–Jundiaí, inclusive por dois anos de atraso no início efetivo da operação do sistema cremalheira. (Foto Arquivo IPT)

O sistema cremalheira ocupou a plataforma antes utilizada pela primeira funicular e continua em operação limitada até hoje. A segunda funicular continuou em operação até 1980, quando então foi desativada.

*“As obras desse novo sistema (cremalheira) foram grandemente prejudicadas por um forte temporal que se abateu sobre a região em fevereiro de 1971, o qual provocou gigantescos deslizamentos ao longo das encostas da Serra do Mar que, entre outros danos, provocaram a destruição do viaduto da Grotta Funda. A primeira viagem de uma locomotiva elétrica de cremalheira ocorreu somente a 8 de janeiro de 1974, quando a máquina #2001 percorreu o trecho entre Raiz da Serra e Paranapiacaba.” (Eng. Antônio Augusto Gorni, em *A eletrificação nas ferrovias brasileiras*)*

Cabe, por fim, registrar que a escolha de Fox pela vertente esquerda do Vale do Rio Mogi, do ponto de vista da Geologia de Engenharia acrescentava um problema adicional, como também aconteceu com a futura Estrada de Ferro Sorocabana ao eleger para seu traçado a vertente direita do Vale do Rio Cubatão. A maior regularidade morfológica dessas encostas revela o papel desempenhado por fatores geológicos em sua conformação, no caso, pelo fato de as principais estruturas e texturas das rochas locais mergulharem paralelamente ou para fora do plano do talude, coadjuvando fortemente mecanismos de escorregamentos naturais, e, especialmente, promovendo aqueles induzidos pela implantação de cortes e outras mutilações do terreno.

É importante também registrar um erro de gravíssimas conseqüências cometido pelos engenheiros ingleses. Erro infelizmente reproduzido mais tarde também em algumas obras da engenharia nacional em encostas serranas tropicais. Os ingleses, acostumados às

florestas frias e temperadas, em que as árvores são de praticamente uma só espécie e ocorrem bastante separadas uma das outras, expondo-se isoladamente a ventos fortes, que podem, por efeito de alavanca, tombá-las, e com isso ofender, pelo arranque das raízes, as camadas superficiais de solo, providenciaram um amplo desmatamento de larga faixa das encostas imediatamente acima da linha férrea. Não se deram conta de que em climas tropicais e subtropicais as florestas apresentam uma enorme diversidade florística e enorme densidade de árvores, de tal modo que as copas conformam um único corpo arbóreo que se apóia mutuamente, impedindo que os ventos produzam o efeito alavanca que lhe poderia atingir o enraizamento e, por conseguinte, as camadas superficiais de solo. Desprotegidas da fantástica proteção promovida pela floresta tropical, as encostas desmatadas viram-se sujeitas aos mais variados tipos de escorregamentos e processos erosivos superficiais.



Série de deslizamentos que colocaram em risco a operação do sistema cremalheira. Anos 80. (Foto Arquivo IPT)

A expectativa do corpo técnico da São Paulo Railway de que, enfim escorregada toda a camada de solos superficiais, ao menos a estabilidade dos taludes e encostas seria alcançada, não se confirmou. Assim como com a Estrada de Ferro Sorocabana na encosta direita do Vale do Rio Cubatão, as condições geológicas estruturais e texturais das rochas nessas duas vertentes sul do lineamento da Falha de Cubatão e o grau de intervenção promovido pela implantação dos cortes viários proporcionaram as condições para a continuidade dos escorregamentos nos horizontes mais profundos formados por solos de alteração de rochas e pela rocha em seus diversos graus de alteração.



Deslizamento, provavelmente associado ao lançamento de material escavado encosta abaixo na época de abertura da ferrovia, faz ligação direta entre a Funicular (superior) e a Cremalheira (abaixo). Anos 80. (Foto Arquivo IPT)

CAMINHO DO MAR

A implantação do Caminho do Mar, que basicamente resultou de vários melhoramentos da antiga Estrada da Maioridade, deveu-se sobretudo às pressões do “automobilismo” que marcou a rica sociedade paulista a partir do início do século XX. Era a época de empolgantes e românticas aventuras automobilísticas. Como o grande reide realizado por Antônio Prado Júnior e amigos, quando, em arriscado desafio, se propuseram ir, pela primeira vez em toda a história, de automóvel de São Paulo a Santos, trilhando na Serra o trecho da abandonada Estrada da Maioridade. Era abril de 1908 e esses destemidos aventureiros da aristocracia paulista, não sem esforços hercúleos, concluíram sua proeza em um carro monobloco a gasolina de fabricação francesa, com poderosos 30 cavalos de força, cumprindo o trajeto de 66km entre a Praça da Sé, em São Paulo, e a Praça dos Andradas, em Santos, em exatas 36 horas e meia.

O número de automóveis e motocicletas crescia a cada ano, e com eles as pressões, os animados reides e campanhas por investimentos públicos no nascente rodoviarismo. Washington Luiz, então ainda deputado, é um dos mais acalorados defensores da opção rodoviária como logística de transporte auxiliar da ferrovia.

Em 1913, o engenheiro Clodomiro Pereira da Silva lança seu famoso livro *Plano de Viação para São Paulo*, colaborando em muito para alçar as rodovias a um patamar estrutural do mundo dos transportes.

Atento às possibilidades empresariais que se abriam com o advento do automóvel e do rodoviarismo, o engenheiro Artur Rudge Ramos, articulando os decisivos apoios do governo estadual e dos governos municipais de São Paulo e Santos, inicia a transformação da antiga Estrada da Maioridade, ou Estrada do Vergueiro como também era conhecida, em uma estrada moderna e tecnicamente adaptada ao trânsito de automóveis. Rampas são suavizadas em vários trechos, a pista é ampliada para uma largura mínima de 5,50 metros e macadamizada em seus trechos mais críticos, de forma que em 1918 o então novo Caminho do Mar já pode receber a caravana automobilística dos participantes do 1º Congresso Paulista de Estradas de Rodagem que se realizava em São Paulo com o apoio do governo de Altino Arantes.



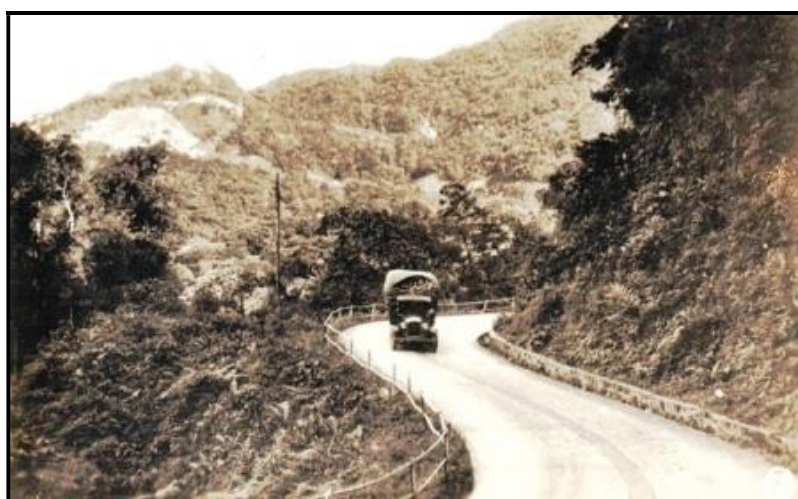
Caminho do Mar em torno de 1915. Ainda em macadame. Notar as precárias condições de segurança da estrada. (Foto Acervo Fundação Arquivo e Memória de Santos)



Caminho do Mar: do Planalto à Baixada.

Em 1920 Rudge Ramos já havia macadamizado todo o trecho da Serra, além das melhorias do Planalto e da Baixada. Funda então a Sociedade Caminho do Mar, ganhando os direitos de explorar privadamente, com cobrança de pedágio, a administração da nova estrada. Em 1921 era contabilizado o tráfego médio diário de 82 veículos no trajeto de ida e vinda São Paulo–Santos. Em 1922, a título de experiência, é concretado o trecho mais íngreme da Serra.

Mas, já em 1923, Washington Luiz, então governador do Estado, para garantir a ampliação dos melhoramentos técnicos que se faziam necessários, adquire a Sociedade Caminho do Mar, eliminando os pedágios. Em 1926, aproveitando-se o macadame como base, conclui-se a execução do pavimento de concreto em todo o trecho de serra, conferindo ao Caminho do Mar condições de rolamento seguras e modernas durante todas as estações do ano e caráter absolutamente pioneiro no país na adoção dessa tecnologia.



Caminho do Mar no início dos anos 30, já inteiramente pavimentado em concreto. (Foto Acervo João Emílio Gerodetti)



Foto do final dos anos 30, mostrando o Caminho do Mar já todo pavimentado em concreto. Em primeiro plano, o Rancho da Maioridade. Notar o conceito tecnológico de estrada encaixada na encosta. (Foto Acervo Maria Cecília França Monteiro da Silva)

Apesar de todos os fantásticos melhoramentos, o Caminho do Mar continuou a conviver com a freqüente ocorrência de escorregamentos nos períodos mais chuvosos, o que implicava prolongados períodos de interrupção do tráfego para a desobstrução da pista e para os consertos que se faziam então necessários. Da mesma forma, ainda subsistia o problema de rampas excessivamente inclinadas — 10% —, que dificultavam a locomoção dos veículos pesados, especialmente no sentido Santos–São Paulo. Além disso, o fato de a estrada dispor de apenas uma pista para subida e descida limitava crescentemente o tráfego, que já em 1934 contabilizava uma média diária de 620 veículos. Impunha-se aos paulistas um novo desafio, qual seja uma nova e moderna rodovia ligando São Paulo a Santos. Foram assim ganhando concretude os sonhos com a futura Via Anchieta.

Ainda que com suas limitações viárias, o Caminho do Mar certamente ainda cumprirá uma importante missão como uma estrada para fins turísticos, educacionais e de pesquisa.



Foto mostrando deslizamento que levou à interrupção do tráfego normal pela estrada por vários anos. Notar a forma compacta com que as copas das árvores da Mata Atlântica se apresentam. (Foto Dersa)

ESTRADA DE FERRO SOROCABANA

Já no final do século XIX era flagrante o descontentamento entre os produtores paulistas e de estados vizinhos diante do compulsório afunilamento do transporte ferroviário entre a capital paulista e o porto de Santos, e dos decorrentes atrasos no embarque das mais diversas cargas. Ademais, causavam-lhes também grande desconforto as altas taxas de transporte cobradas pela São Paulo Railway (Santos–Jundiaí), detentora do monopólio do transporte ferroviário para o porto assegurado pelos contratos de construção.

Em meados de 1924, verifica-se uma verdadeira crise no comércio do café em decorrência da incapacidade da “Ingleza” dar vazão a toda a carga existente. Estima-se que nessa época essas dificuldades tenham acarretado para os comerciantes de café um prejuízo da ordem de trezentos mil contos de réis, quantia altíssima para a época.

Tanto os empresários paulistas como o governo estadual convenceram-se plenamente da necessidade da implantação de uma nova ferrovia para Santos. Como artifício para contornar as condições contratuais do Governo Imperial com os ingleses proprietários da São Paulo Railway, que proibiam a implantação de uma nova ferrovia São Paulo–Santos por 90 anos a partir da inauguração (1867) da Santos–Jundiaí, assim como qualquer obra viária em uma faixa de 60km a partir do eixo dessa estrada, decidiu-se por uma ferrovia que ligasse diretamente Mairinque a Santos, e, como traçado na Serra, a vertente direita do Vale do Rio Cubatão.

Mesmo assim, várias e fortes resistências políticas e jurídicas articularam-se para evitar a construção da nova ferrovia. A polêmica foi definitivamente resolvida em 1926 com a corajosa decisão de Júlio Prestes de Albuquerque, recém-empossado governador do Estado, de adquirir a Southern Railway, fazendo assim caducar em definitivo todas as restrições contratuais à implantação de uma nova linha ferroviária para Santos.

Em 10 de outubro de 1927, Júlio Prestes crava no km 19 da linha ferroviária Santos–Juquiá a estaca inicial da linha que dali ligaria Santos a Mairinque.

Autorizado o empreendimento e aprovadas as diretrizes técnicas do projeto, quais sejam, bitola de 1m em plataforma que permitisse duplicação, tecnologia de simples aderência com rampas máximas de 2% e raio mínimo de 245,62m, o engenheiro Gaspar Ricardo Júnior, então diretor da Estrada de Ferro Sorocabana, e a quem muito se deve a decisão de abrir a nova estrada, realiza os últimos acertos técnicos do traçado e das obras necessárias.

Os trabalhos na Serra foram iniciados em 1928 com duas turmas, uma que subia de Samaritá rumo ao Planalto e outra que trabalhava em sentido contrário a partir de Evangelista de Souza. As diretrizes gerais do traçado e do projeto neste trecho foram definidas pelo engenheiro Alvimar de Magalhães Castro.



Foto de 1928 mostrando os trabalhos de construção da E. F. Sorocabana (E. F. Mairinque–Santos, na ocasião) na vertente direita do Vale do Rio Cubatão. Notar o hábito de lançar o material escavado imediatamente encosta abaixo. As extensas áreas desmatadas junto ao rio seriam mais tarde ocupadas por eucaliptais aproveitados como matéria-prima e fonte de energia por indústrias santistas. (Foto FPHESP – Arquivo IPT)

A odisséia tecnológica que se verificou na abertura da Santos–Jundiaí repetiu-se na abertura da Sorocabana. Numa época em que pouco existia de terraplenagem mecanizada no país, as obras foram executadas basicamente por meio da conjunção de mão-de-obra, veículos de tração animal, ferramentas simples e explosivos. Ainda assim, o amplo e bem-sucedido uso do concreto armado nas obras-de-arte foi considerado uma das maiores realizações técnicas da engenharia nacional.

Como não havia mão-de-obra especializada no país, foram contratados operários portugueses para os serviços de assentamento de trilhos e operários espanhóis para as obras em pedra, como bueiros, galerias, arrimos de cortes e aterros, etc.

O historiador Fernando Martins Lichti é preciso em sua constatação:

“Nessa árdua tarefa de romper obstáculos na subida dessa impenetrável Serra do Mar, a fim de que as paralelas de aço fossem assentadas com esmero e capricho, abertura de túneis, confecção de vigas de cimento armado lançadas sobre grotões, abismos, córregos e rios, perderam a vida inúmeros trabalhadores, famílias, empreiteiros e engenheiros, em acidentes e vitimados por doenças, como maleita e febre intermitente.

A Mairinque–Santos é obra projetada e executada por brasileiros exclusivamente, e por isso é uma obra que orgulha a engenharia nacional. A sua construção muito deve aos engenheiros Gaspar Ricardo Júnior, Humberto Fonseca, Armando Zenesi, Sinísio O.

Barbosa, Marçilac, Sebastião Ferraz, sr. Argeu Pinto Dias, P. Falcão, Durval Micaste, Humberto Nobre Mendes, Márcio Sales Souto (sucessor de Gaspar Ricardo Júnior na direção da Sorocabana, depois do falecimento deste, ocorrido a 3 de maio de 1937), Luiz de Castro Seti, Luiz Orsini Castro, Agenor Guerra Correa e tantos outros engenheiros, médicos, enfermeiros, mestres artífices, trabalhadores, maquinistas, agentes etc. A coragem do eng. Gaspar Ricardo, emérito diretor da E. F. Sorocabana na ocasião, sua confiança invencível nos destinos da Sorocabana, foram as alavancas que possibilitaram a realização desse empreendimento.”

Em 2 de dezembro de 1937 entra em operação a Estrada de Ferro Mairinque–Santos, que é definitivamente incorporada à Estrada de Ferro Sorocabana nesse mesmo ano.



Detalhe dos extensos cortes e do lançamento do material escavado encosta abaixo, gerando instabilidades a montante e a jusante da pista. Em primeiro plano, aspecto dos gigantescos cimbramentos erguidos para construção de viadutos. Ano 1930. (Foto Nilson Rodrigues)

A exemplo da Santos–Jundiaí, a escolha da vertente direita do Vale do Rio Cubatão, implicou que a Sorocabana, com seus inúmeros cortes, fosse implantada na encosta sul do lineamento da falha geológica de Cubatão, onde as estruturas e as texturas das rochas mergulham paralelamente ou para fora do plano do talude, aumentando a instabilidade do terreno, especialmente em suas camadas mais profundas de rochas alteradas moles e duras.



Colapso em saprolito condicionado por combinações desfavoráveis de planos de fratura e cisalhamento do maciço rochoso com o plano e inclinação do talude. Por apresentar grande influência da Falha de Cubatão, a vertente direita do Vale do Rio Cubatão mostrou-se adicionalmente instável ante os cortes para implantação da ferrovia. (Foto IPT)



Ruptura em rocha condicionada por fraturamento associado à Falha de Cubatão. (Foto IPT)

Mesmo com um projeto que nos 42km de trecho de serra previu 27 túneis e 5.400m em viadutos e pontes, o processo de abertura da Sorocabana foi marcado por um enorme número de escorregamentos e acidentes de caráter geotécnico que transformaram o empreendimento em uma vitoriosa mas trágica epopéia da engenharia nacional.

Com mais de 60 anos de operação, a Sorocabana ainda convive com a freqüente ocorrência de escorregamentos nos períodos chuvosos e a rotina de interrupções de tráfego para reparos e desobstrução da linha em seu trecho de serra. Vários serviços de investigação de estabilidade e consolidação de taludes já foram providenciados, mas é impossível ao engenho humano, dentro de orçamentos econômicos aceitáveis, prover razoável segurança ao tráfego, dado o elevadíssimo grau de intervenção perpetrado em suas encostas e a natural suscetibilidade dessas a todos os tipos de rupturas naturais e induzidas.



Deslizamento em solo superficial com blocos ocorrido em janeiro de 1976 acarretando a completa obstrução do emboque sul do Túnel 8. (Foto Arquivo IPT)

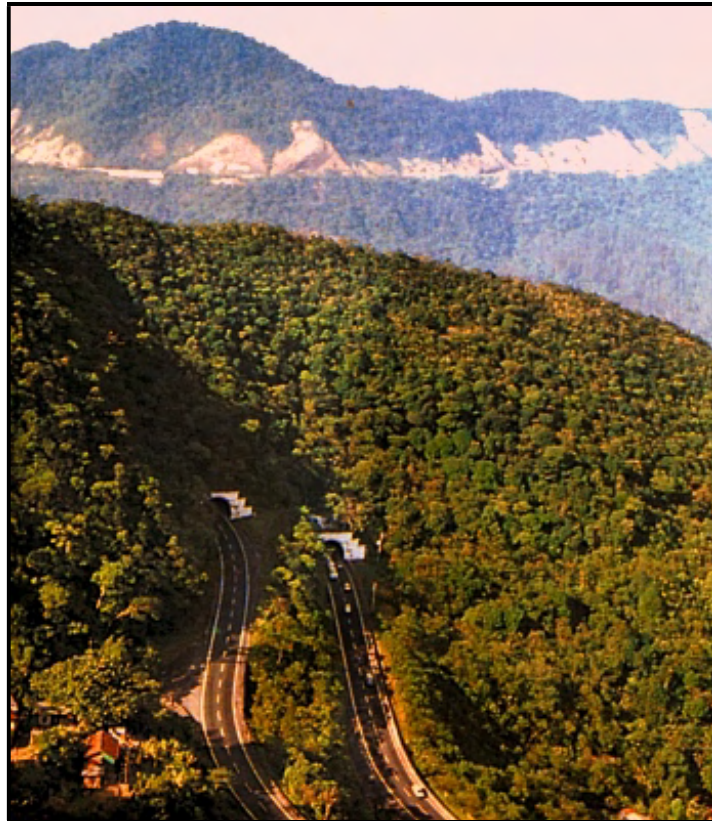


Seqüência de grandes deslizamentos atingindo a plataforma ferroviária. Notar a grande faixa desmatada, que deixou os horizontes superficiais de solos totalmente desprotegidos e desestabilizados. Inúmeros escorregamentos provocaram acidentes e interrupção do tráfego durante todos os anos de operação da ferrovia. (Foto Arquivo IPT)



Grande deslizamento já atingindo o saprolito que obstruiu completamente o emboque de túnel. A alta freqüência de escorregamentos gerou a expectativa de que, escorregado todo o horizonte de solo superficial, atingir-se-ia uma relativa estabilidade. Entretanto, escorregado o solo, a instabilização atingiu os horizontes inferiores mobilizando progressivamente grandes volumes de solo de alteração e blocos de rocha. (Foto Arquivo IPT)

Visando evitar o agravamento da instabilidade das encostas, também na Sorocabana se repetiu o erro de considerar, por transposição de tecnologia de países de clima frio e temperado, que a vegetação (floresta) era um dos fatores responsáveis pela instabilidade das encostas, optando-se pelo desmatamento de enorme faixa da encosta imediatamente acima da linha férrea, fato que contribuiu de forma decisiva para o alto grau de instabilidade verificado ao longo de todo o trecho de serra.



Sorocabana vista da Via Anchieta, ou seja, uma vista tomada do Vale do Rio Pilões em direção à vertente direita do Vale do Rio Cubatão. Notar a extensa faixa desmatada, expediente à época entendido como favorável à estabilidade dos taludes. Contrariamente, foi um dos principais fatores potencializadores dos inúmeros e graves deslizamentos com que a ferrovia se viu obrigada a conviver em todo o seu período de implantação e operação. (Foto Arquivo IPT)

VIA ANCHIETA

O fantástico ritmo do desenvolvimento econômico do Estado de São Paulo mais uma vez, já a partir especialmente do fim dos anos 20, exigiu que as condições de transporte entre a capital e o porto atendessem sua crescente e cada vez mais diversificada demanda de exportação e importação de produtos agrícolas, matérias-primas e bens manufaturados.

Agora um novo meio de transporte, versátil, ágil, porta-a-porta, se impunha como fundamental ao comércio, à indústria e à agricultura paulista: o caminhão. Não em declarada competição à ferrovia, mas em uma então argumentada complementariedade logística. Embora pavimentado, o Caminho do Mar não atendia tecnicamente — sobretudo por sua condição de pista única, seu pequeno raio mínimo de curvatura e por suas acentuadas rampas — às condições ideais de rodagem do caminhão, nem ao volume de tráfego real e reprimido. Já em 1934, o tráfego calculado no Caminho do Mar correspondia a uma média mensal de 18.500 veículos automotores, 6.700 dos quais eram caminhões. No início da década de 30, o Estado de São Paulo já contava com 70 mil veículos automotores, dos quais 26 mil eram caminhões.

Em 1925, o engenheiro Teixeira Soares afirmava em entrevista ao jornal *O Estado de S. Paulo*:

“Entretanto, o que em qualquer hipótese, qualquer que seja a solução adotada, não pode passar por mais tempo sem que se atenda, é dotar São Paulo de uma via de comunicação com o seu porto normal, que é Santos, tal que torne a economia e o comércio dessa Capital a coberto de emergências que possam surgir, derivadas seja de erros ou imprudências, seja de circunstâncias anormais.

Essa via de comunicação de capacidade ilimitada será constituída pela estrada de rodagem, não a estrada de passeio ou de pequeno tráfego local, mas um tipo de estrada que já vai surgindo no estrangeiro, cobrindo a Europa e os Estados Unidos de uma vasta rede de veículos: a estrada de rodagem para tráfego intenso e pesado.

Tecnicamente, isto se resume numa questão de pavimentação. Aí é que está o ponto principal. E note que neste particular não temos que embarcar em aventura duvidosa, em regime de ensaios. É simplesmente aproveitar a experiência alheia, comprovada pelos resultados práticos. Será uma estrada de construção dispendiosa, mas em compensação de custo mínimo.”

A partir dessa época, já não se discute a necessidade de uma nova e moderna transposição rodoviária da Serra, mas sim como seria o empreendimento, qual seu melhor traçado e outras questões de contorno.

Vários projetos vão se sucedendo, como o de Luiz Romero Sanson e D. L. Derrom, que a propunham na vertente oposta, direita, à São Paulo Railway no Vale do Rio Mogi, e o dos engenheiros Francisco de Paulo Camargo e Siqueira Campos, que a imaginaram galgando o Vale do Rio Perequê, em escolha idêntica ao Caminho do Padre José.

Acompanhando e refletindo a “onda” do movimento rodoviarista, é criado em 1934 o Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo – DER, que veio a se constituir em uma das melhores escolas de pensamento da engenharia rodoviária nacional e celeiro de engenheiros rodoviaristas de fantástica competência.

Em novembro de 1934, o DER propõe oficialmente ao governo a implantação de uma nova e moderna ligação rodoviária entre a capital e o porto. Em maio de 1935, por meio do Decreto nº 7.162, o governo estadual confere a aprovação solicitada.

Os estudos preliminares prosseguem, agora internamente ao DER, que cria em 1938 a Comissão Especial de Auto-estradas – CEAE, sob a chefia do engenheiro Dario de Castro Bueno.

Já em decisão final, com base nos estudos anteriores e em novos estudos aerofotogramétricos especificamente encomendados, a CEAE opta por vencer a Serra através do vale do Rio Pilões, afluente do Rio Cubatão.



Foto da época da abertura da Via Anchieta, início da década de 40, mostrando a despreocupação com a conservação da vegetação florestal e o alto nível de interferência nas encostas. Predominava na ocasião a atitude de “vencer” a serra a qualquer custo. Atitude heróica, mas que tão intensas e graves conseqüências geotécnicas trouxe para a construção e operação da estrada. (Foto Arquivo IPT)

O projeto executivo da nova estrada ficou a cargo da equipe comandada pelos engenheiros Ariovaldo Viana e Dario de Castro Bueno. Foram adotadas normas rodoviárias alemãs no que tange a largura de pista, raio mínimo de curvatura, rampa máxima, etc., mas o projeto foi todo ele concebido pela engenharia nacional representada pela escola de engenharia rodoviária em que havia se constituído o DER-SP.

Prevendo uma capacidade diária de tráfego de até 18 mil veículos, o projeto Anchieta previa as seguintes características técnicas: faixa entre cercas de 20m, pista ascendente e descendente independentes, largura de pista de 6m, raio mínimo de curvatura de 50m, rampa máxima de 6% e pavimento de concreto.

A construção efetiva da nova estrada iniciou-se em 1939, sendo sua implantação prejudicada pelas severas condições econômicas impostas pelo período da Segunda Guerra Mundial, que então se iniciava. Mesmo assim, o esforço paulista para ter sua nova estrada possibilitou que as obras não fossem irremediavelmente descontinuadas, o que permitiu, apesar de todas as dificuldades colocadas pelo trecho de serra, que a primeira pista (ascendente) fosse inaugurada em 1947 e a segunda (descendente), aberta ao tráfego em 1953.



Via Anchieta poucos anos após a inauguração da primeira pista. Notar o alto grau de intervenção nas encostas pelo desmatamento, estradas de serviços e obras da própria estrada. (Foto Acervo João Emílio Gerodetti)

Em 1945 o DER contava com cerca de 1.200 empregados diretos trabalhando no trecho de serra; estes, somados aos das empreiteiras contratadas, compunham um contingente de 5.000 trabalhadores envolvidos nos serviços de implantação da nova estrada.

A Via Anchieta foi concluída com 58 viadutos, 18 pontes e cinco túneis, porém sua intervenção nas encostas do Vale do Rio Pilões por meio de cortes foi enorme, transformando sua abertura em um verdadeiro “inferno” geotécnico. Em que pesem as experiências anteriores proporcionadas pela São Paulo Railway, pelo Caminho do Mar e pela Sorocabana, ainda não havia sido dessa vez que a engenharia rodoviária nacional acertara o melhor conceito de projeto rodoviário para a transposição das instáveis encostas da Serra do Mar, ainda que as técnicas de engenharia à disposição naquele momento já possibilitassem uma melhor adequação geológico-geotécnica do projeto e do próprio plano de obra.



Foto da Via Anchieta no início da década de 60 mostrando o conceito básico do projeto, qual seja, uma estrada encaixada em cortes na encosta. Notar o alto nível de interferência com cortes, desmatamentos e lançamentos de material escavado nas encostas. (Foto Acervo Maria Cecília França Monteiro da Silva)

Durante todo o período de sua operação, até os dias de hoje, a Via Anchieta continua a colher os amargos frutos de sua inadequação técnica à Serra. Gerações de engenheiros do DER se esmeraram em estudar e propor medidas que alcançassem um melhor grau de estabilidade dos inúmeros taludes que se romperam e obras que foram comprometidas.

Dois casos clássicos e de extrema gravidade testemunham os seríssimos problemas enfrentados pela Via Anchieta com a instabilização, pela implantação da obra, de massas coluvionares e corpos de tálus.

Nas proximidades do km 52, cota 95, onde as pistas ascendente e descendente correm paralelas e contíguas, a implantação da rodovia implicou um corte em corpo de tálus que ocorre no local. Ainda durante os trabalhos de implantação, a movimentação deste corpo de tálus, então instabilizado, afetou ambas as pistas, exigindo na época a construção de uma precária variante. O caso foi exaustivamente estudado no final dos anos 40 e início dos 50, sendo que a estabilização do local só foi conseguida por meio de terraplenagem de alívio no talude de montante, da impermeabilização asfáltica da superfície terraplenada e da instalação de um sistema de drenagem profunda através de galerias e drenos sub-horizontais (em tubos de PVC) cravados a partir da face do talude.

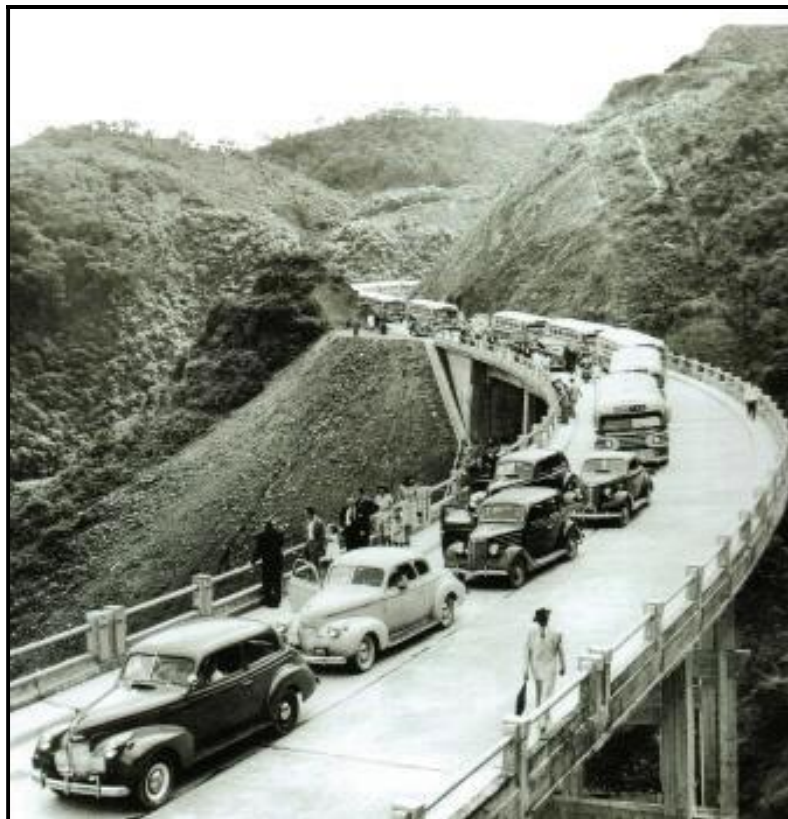
Na região da cota 500, km 44,7 da pista descendente, local popularmente conhecido como “Curva da Onça”, a interceptação de um corpo de tálus implicou amplas movimentações do terreno, acarretando, ao longo dos anos 50 e 60, a inutilização de um viaduto metálico, de um viaduto de concreto e de um muro de arrimo projetados para sustentar as duas pistas em seu traçado original. Foram então construídas variantes, mas

com o sacrifício dos raios mínimos de curvatura, o que tornou o local um dos pontos de maior incidência de acidentes da Via Anchieta. Mesmo depois dessas medidas, foi constatada a continuidade da movimentação do terreno, o que exigiu, até a década de 70, a execução de sucessivos serviços de estabilização, especialmente calcados na instalação de um sistema de drenagem interna através de uma densa rede de drenos sub-horizontais profundos.

Alguns trabalhos posteriores de terraplanagem e aterramento conseguiram uma pequena amenização da perda das condições geométricas originais do traçado.

Caso emblemático da longa continuidade da instabilidade induzida pela estrada nas encostas do Pilões, é o recente escorregamento do km 42 da pista ascendente, que exigiu uma problemática interrupção do tráfego local e dispendiosos e complexos serviços de estabilização.

Enfim, a Via Anchieta, como as anteriores transposições viárias da Serra a partir do Novo Caminho de Cubatão, também adotou a atitude de “vencer a Serra”, o que acabou por lhe valer os imensos problemas geotécnicos herdados.



Via Anchieta na época da inauguração de sua segunda pista (descendente). Notar o problemático costume de lançar encosta abaixo o material escavado de cortes a montante. Instabilizava-se a encosta cortada e a encosta inferior atingida pelo “cômodo” bota-fora. (Foto Acervo Fundação Arquivo e Memória de Santos)



Deslizamento remontante que atingiu a Via Anchieta no km 42 em 1999, decorrência do lançamento do material de escavação imediatamente encosta abaixo à época da construção da estrada (vide foto anterior). (Foto Ecovias)

O depoimento do engenheiro Caio Dias Batista, efetivo da Secretaria de Obras na época, define com precisão essa assertiva:

“O projeto da Via Anchieta permaneceu imobilizado na prancheta dos engenheiros, na situação de utopia irrealizável, porque a técnica sozinha era impotente para abrir os caminhos que o nanquim riscara no papel. Para que a utopia tivesse o seu lugar na realização material, era necessário o elemento coragem, que impulsionou os operários e os engenheiros que desbravaram, depois de José de Anchieta, os confins da Serra do Mar. A serra foi vencida, porque os administradores colocaram recursos à mão dos operários, mas, também, porque técnicos e operários tiveram coragem, esse elemento herdado aos Bandeirantes.”



Desmoronamento em rocha com total interrupção do tráfego por muitos dias na pista ascendente da Via Anchieta no verão de 1970. Evento induzido pelo corte na encosta, o que promoveu uma combinação desfavorável entre planos de fraturas da rocha com o plano do talude. (foto Arquivo DER – SP)

RODOVIA DOS IMIGRANTES

A pista ascendente

Mais uma vez o desenvolvimento econômico brasileiro e paulista surpreende. Já no início da década de 60 a Via Anchieta dava inquietantes sinais de que não suportaria por muito tempo o fluxo de veículos entre o Planalto e a Baixada. A partir desse período, a opção rodoviarista e automobilística feita pelo país, assim como o próprio desenvolvimento induzido pela Via Anchieta, como a industrialização do Pólo de Cubatão e a intensificação da exploração turística do litoral centro-sul paulista, começam a fazer sentir seus efeitos e impor suas demandas por uma infra-estrutura viária capaz de dar conta de suas necessidades de circulação de homens e mercadorias. Estudos de tráfego encomendados pelo DER em 1962 apontaram a inequívoca necessidade de ampliação das pistas da Anchieta no Planalto e na Baixada e da construção de uma nova rodovia.

Internamente ao DER são iniciados diversos estudos preliminares de traçado para a nova rodovia, sendo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT contratado em 1967 para estudos geológico-geotécnicos detalhados em escala 1:2.000 de uma faixa de terreno de 250m de largura tendo por eixo a diretriz do novo traçado. Essa faixa deveria abrigar futuramente as três pistas então consideradas para a futura rodovia dos Imigrantes: ascendente, descendente e reversível. A diretriz escolhida levava a nova estrada a adentrar a descida da escarpa através da margem esquerda do Vale do Rio Cubatão, desenvolvendo-se em seguida pelo Vale do Rio Pilões, por onde já se desenvolvia grande parte da Via Anchieta. O contrato DER/IPT incluiu também estudo semelhante para o denominado Ramal Mongaguá, que do alto da Serra fletia para sudoeste, através do Vale do Rio Branco, alcançando a Rodovia Pedro Taques na altura do município de Mongaguá.

Os estudos foram executados pelo IPT ao longo dos anos de 1967, 68, 69 e 70, tendo servido como base para a composição do edital de licitação do projeto da nova rodovia. Esse edital exigia ainda da projetista vencedora a avaliação de alternativa de traçado que se desenvolvesse, como a E. F. Sorocabana, pela vertente direita do Vale do Rio Cubatão.

Em 1969 é criada o Desenvolvimento Rodoviário S. A. – Dersa, empresa pública encarregada de dar agilidade gerencial a todas as providências necessárias à implantação da nova rodovia. A licitação, lançada ainda no final de 1969, tem caráter internacional, estabelecendo prazo extremamente exíguo, 6 meses, para a elaboração do projeto executivo. O governo do Estado pretendia iniciar e concluir o mais rapidamente possível a obra, a qual considerava estratégica dentro do conceito de corredor vital de exportação/importação ligando o maior parque industrial da América Latina ao maior porto do país.

O consórcio formado pelo Escritório Técnico J. C. de Figueiredo Ferraz Ltda. e a Alpina S.p.A., empresa italiana com larga experiência em obras em regiões montanhosas, especialmente nos Alpes Italianos, venceu a concorrência para o trecho da Serra.

Os trabalhos de campo e escritório conduzidos pelo consórcio foram febris, em função dos prazos estabelecidos, especialmente considerando os grandes transtornos que se revelaram ao se verificar que a base topográfica utilizada para os estudos preliminares feitos pelo DER apresentava vários problemas de precisão.

Marcam esse momento a percepção e o descortino do engenheiro José Carlos de Figueiredo Ferraz, que, ao constatar as singulares condições geológicas e geotécnicas da Serra do Mar, e os sucessivos insucessos colhidos, nesse aspecto, por todas as experiências anteriores de sua transposição viária, estabelece que a nova rodovia deveria romper com as diretrizes anteriores e tradicionais de implantação de estradas, inovando ousadamente para que no fim a sociedade brasileira e a economia paulista em particular, pudessem contar com uma obra totalmente segura quanto às boas condições e à não interrupção do tráfego.



Singular foto da vertente esquerda do Vale do Rio Pilões mostrando nitidamente as diferenças entre os conceitos de projeto adotados pela Via Anchieta e pela Rodovia dos Imigrantes. Na parte superior, a Anchieta basicamente encaixada em cortes na encosta, na parte inferior, a Imigrantes privilegiando túneis e viadutos, evitando assim ao máximo as interferências nas encostas. (Foto Dersa)

É clássico e salutarmente estimulante para a tecnologia brasileira o seguinte depoimento do engenheiro José Carlos de Figueiredo Ferraz:

“Se prevalecessem os critérios e as metodologias correntes de projetos rodoviários, far-se-ia necessária uma sucessão de cortes e aterros, executados em terreno onde já reina um regime de estabilidade limite, facilmente transposto para o âmbito da instabilidade, quando uma ligeira modificação das suas condições fosse imposta.

E isto fatalmente haveria de ocorrer se fossem mantidos os conceitos limitados e estreitos de que uma estrada se define primordialmente como obra diretamente assente no terreno, através de cortes e aterros e que no caso das condições de rampa máxima e raio mínimo impostas à Rodovia dos Imigrantes, importariam em enormes movimentos de terra e subsequente comprometimento para a estabilidade, já quase limite, do maciço. Cumpria então a adoção de um novo enfoque, de uma nova abordagem para a solução mais adequada. E, como não podia deixar de acontecer, esta inclinou-se para um partido mais condizente com a realidade geológica e topográfica reinantes: a rodovia seria uma sucessão de túneis e viadutos, intercalados por terraplenos, quando possível.”

Importante registrar que a contratação do IPT pelo DER em 1967 para a caracterização geológico-geotécnica de uma faixa de interesse da futura rodovia marcou uma nova e avançada atitude dentro da engenharia viária nacional, pela qual definitivamente se estabeleceu a enorme importância da consideração dos fatores geológicos para a definição de projetos e obras viárias. Estivesse a Geologia de Engenharia brasileira naquela época já mais bem posicionada conceitualmente sobre suas intrínsecas responsabilidades técnicas, tanto o DER como o próprio IPT teriam já naquela ocasião avançado da simples caracterização geológico-geotécnica do terreno contido na referida faixa, para um esforço especialmente direcionado a uma melhor compreensão dos mecanismos de evolução das encostas da Serra do Mar e seus movimentos de massa naturais e induzidos, o que proporcionaria a contratante e projetistas informações cruciais para a definição das melhores diretrizes de projeto capazes de evitar ao máximo os incríveis dissabores com que tiveram de conviver as experiências anteriores de transposição viária da Serra.

No entanto, mesmo sem contar ainda com o suporte de avançados conhecimentos e informações sobre os mecanismos naturais de evolução das encostas — movimentos de massa —, não totalmente desenvolvidos e disponíveis na época, a filosofia de projeto da Rodovia dos Imigrantes foi concebida à luz das problemáticas experiências anteriores e ainda sob o impacto do evento dos escorregamentos generalizados de Caraguatatuba e Serra das Araras em 1966 e 1967. Assim, tinha-se já, por uma série de antecedentes, a Serra como uma região de encostas francamente instáveis e de difícil enfrentamento para a engenharia. Foi essa exata percepção que inspirou a revolucionária decisão de Figueiredo Ferraz, de privilegiar, no trecho de serra, a utilização de túneis e viadutos procurando evitar ao máximo interferências nas encostas através de cortes e aterros.

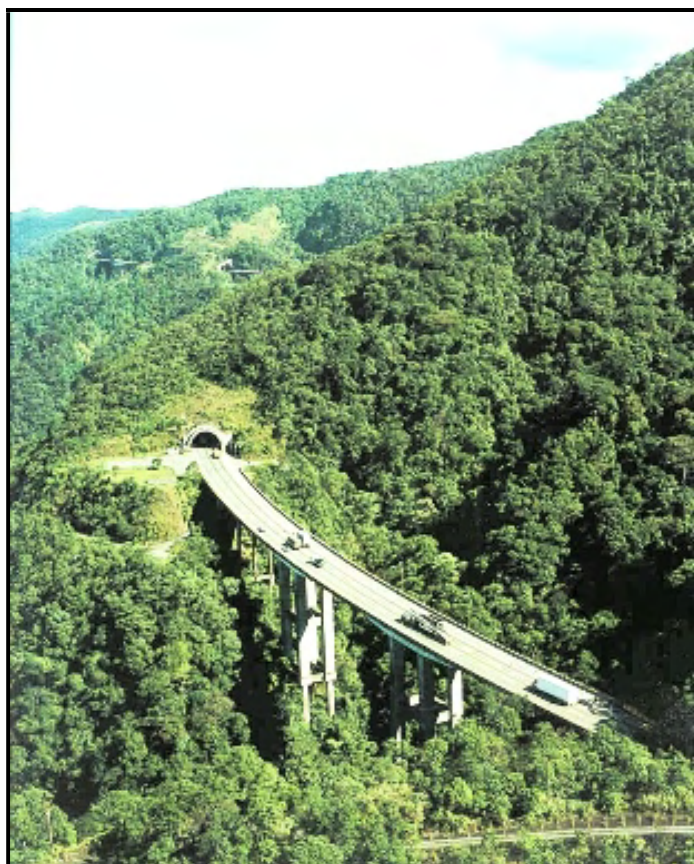


Foto da primeira (ascendente) pista da Imigrantes mostrando claramente seu conceito de projeto, em que se optou por túneis e viadutos como expediente para reduzir as interferências nas encostas. Notar a vegetação já em razoável estágio de recuperação nos locais de emboques de túneis (Foto Dersa)

Como decorrência dessa decisão, a pista ascendente da Imigrantes contou, em seus 11,5km de trecho de serra, com 11 túneis, perfazendo um total de 3.825m, e 18 viadutos, em extensão total de 8.135m.

• Para esse mesmo trecho, foram por projeto definidas as seguintes características técnicas:

- largura da plataforma: 17,40m
- largura da pista (3 faixas de rolamento): 10,80m
- raio mínimo de curvatura: 400m
- rampa máxima: 6%
- velocidade diretriz: 110km/h

A primeira pista (ascendente) teve suas obras iniciadas em 1971, o trecho de planalto concluído e liberado em 1974 e os trechos da Serra e da Baixada inaugurados em junho de 1976.

O paradoxo conceitual na implantação da primeira pista

Se a filosofia do projeto e os cuidados tecnológicos especiais definidos pelo consórcio projetista propunham-se garantir que as encostas da Serra fossem minimamente afetadas pela implantação da nova estrada, cuidado semelhante não houve na escolha e definição do plano de obra e em sua efetiva execução.

Estabeleceu-se, no caso, uma efetiva contradição entre duas atitudes. Um até hoje não muito bem entendido paradoxo entre a filosofia do projeto e a logística de implantação da obra adotada pelas empreiteiras do trecho de serra, com o que a execução de estradas de serviço, canteiros de obra, preparação de emboques e desemboques de túneis, lançamento de material de escavação encosta abaixo, e outros procedimentos não adequados, promoveram situações em que as encostas foram, intensa e extensamente escavadas e desestabilizadas.

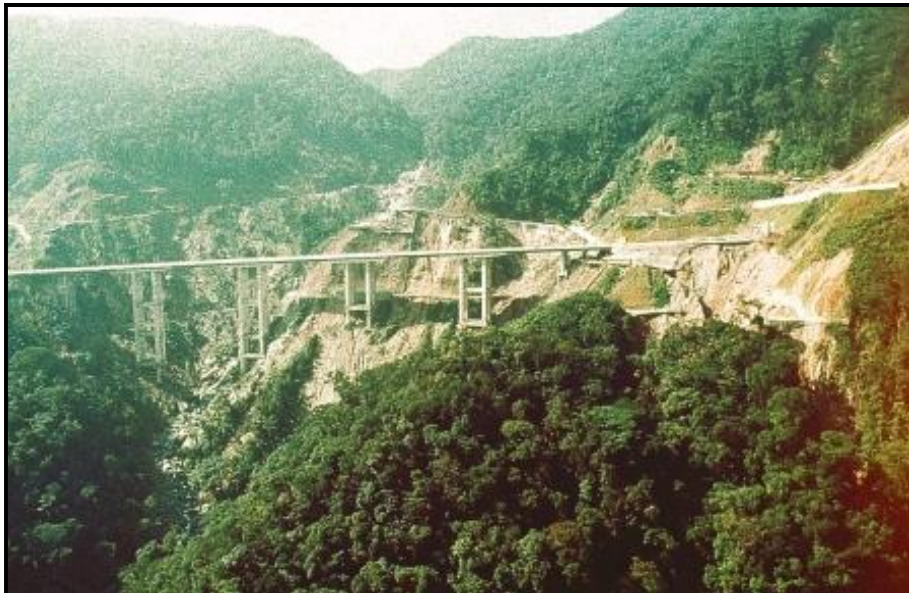
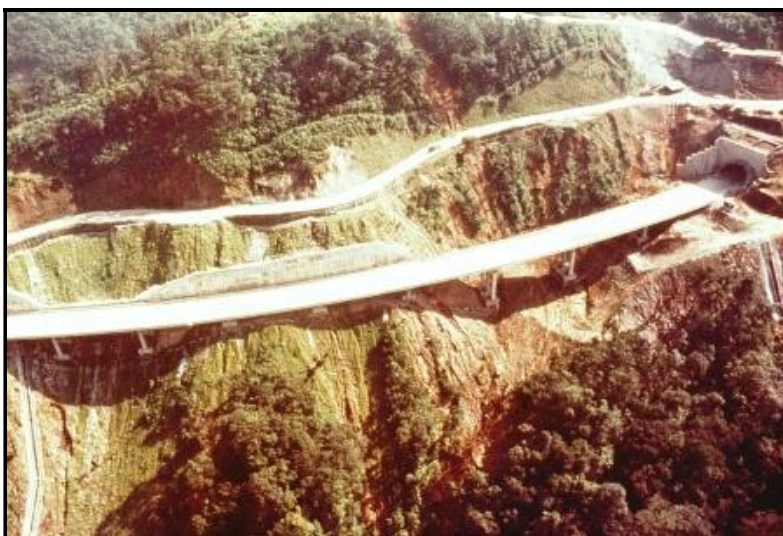


Foto da época da construção da primeira pista da Imigrantes mostrando o notável paradoxo que se estabeleceu entre o conceito de projeto (minimização das interferências nas encostas) e o plano de obra, que com suas estradas de serviços e métodos construtivos acabou por causar intensa interferência nas encostas. Os motivos que levaram a esse paradoxo são hoje difíceis de definir com precisão, mas sem dúvida colaboraram o curtíssimo prazo para término da obra definido pelo poder público, o que impôs um ritmo de obra prejudicial ao contínuo e rico relacionamento entre projetista e construtor durante os trabalhos de implantação, assim como a cultura construtiva de uma época (início dos anos 70) onde as questões ambientais não haviam ainda se manifestado como nos dias de hoje. (Foto IPT)

É importante, antes de mais nada, entender que a implantação da pista ascendente deu-se em um contexto histórico radicalmente diverso daquele que prevaleceu no caso da pista descendente. No início dos anos 70 as questões ambientais estavam ainda fracamente colocadas, e muito pouco absorvidas pela cultura técnica das empresas brasileiras de engenharia. Assim como a legislação ambiental na época era incipiente e as políticas

ambientais não constavam das preocupações centrais da administração pública e da sociedade civil. De forma que o que hoje pode nos parecer justamente um absurdo, na época apenas reproduzia a forma como tradicionalmente obras de engenharia eram conduzidas no país.

Obviamente que os problemas causados pelo plano de obra não resultaram apenas em prejuízos de ordem ambiental, mas especialmente em problemas de ordem geológico-geotécnica, instabilizando encostas e taludes, permitindo a erosão sobre solos expostos e exigindo uma ordem de obras de contenção e de serviços de recomposição da vegetação superior à originalmente imaginada, fatos que oneraram sobremaneira os recursos públicos destinados ao empreendimento.

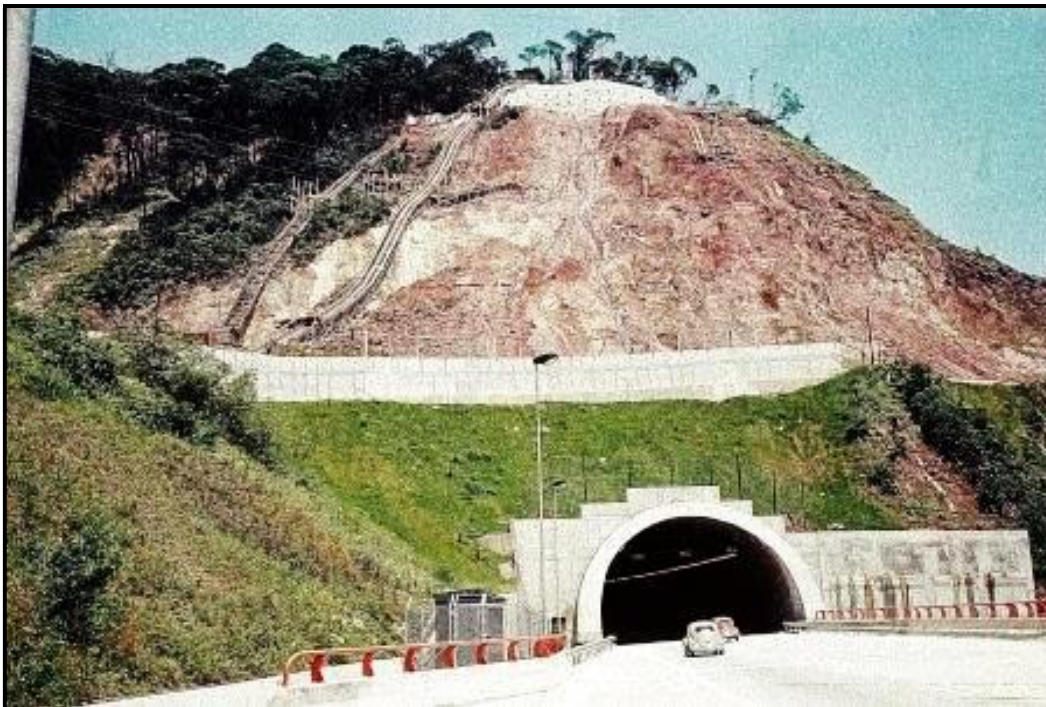


As estradas de serviço constituíram-se na construção da primeira pista da Imigrantes em um dos principais focos de instabilização das encostas. (Foto IPT)

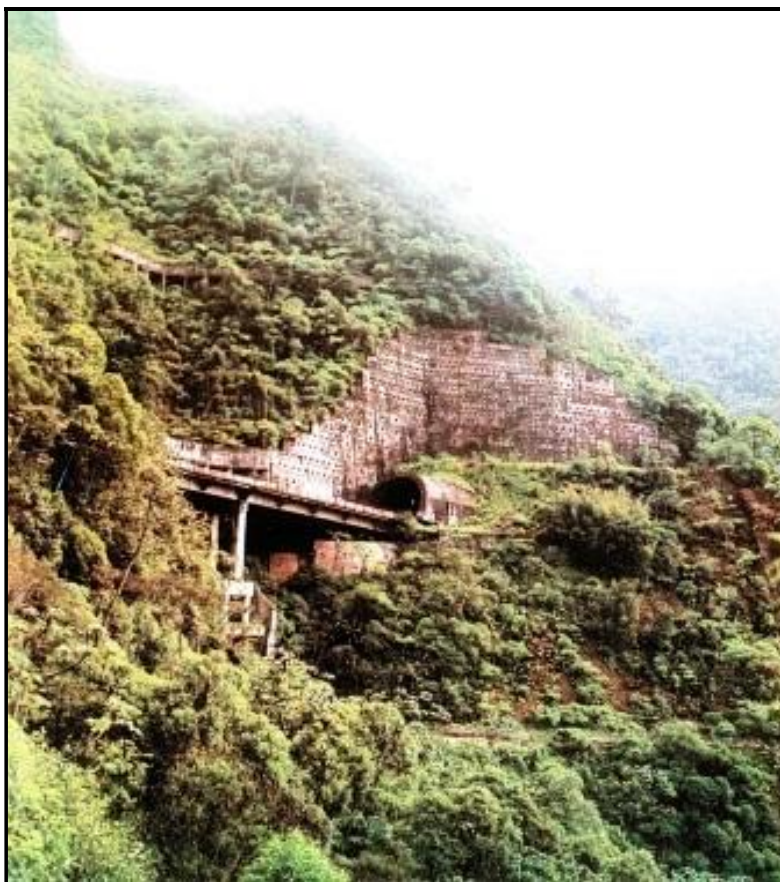


Foto mostrando o intenso assoreamento a que foi submetido o Rio Cubatão como consequência da erosão sobre os solos expostos durante a implantação da primeira pista da Imigrantes. (Foto IPT)

Depoimentos de projetistas e empreiteiros que participaram ativamente dos trabalhos de projeto e implantação da primeira pista da Imigrantes permitem concluir que o curtíssimo cronograma estabelecido pela administração pública da época para a conclusão da obra deva ter se constituído em fator especial para o entendimento do referido paradoxo projeto/obra, por impor um ritmo de trabalho incompatível com a indispensável necessidade de permanente e tranqüila interlocução entre projetistas e construtores na adequação de projetos e especificações, fato natural diante de situações novas trazidas à tona pelo avanço de uma obra. Este mesmo ritmo frenético de obra talvez tenha adicionalmente propiciado uma certa folga no rigor com que a fiscalização deveria exigir, na execução das obras, o exatamente disposto em projeto e especificações.



Emboque de túnel da primeira pista da Imigrantes revelando o elevado nível de interferência na encosta, em paradoxo com o conceito geral do projeto e com o próprio caráter funcional da opção túnel. (Foto IPT)

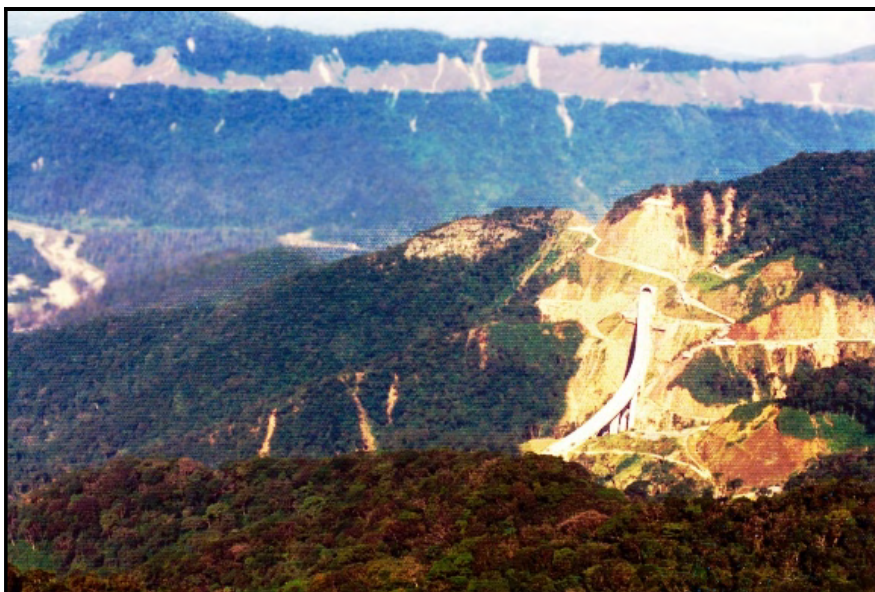


O alto grau de interferência nas encostas proporcionado pelo método construtivo adotado, no caso em esboços de túneis, levou à necessidade de aplicar extensamente a solução de contenções atirantadas. A primeira pista da Imigrantes fica assim caracterizada por três tipos básicos de soluções de engenharia: túneis, viadutos e contenções atirantadas. (Foto IPT)

Independentemente das causas, o fato é que a logística de implantação da obra adotada no trecho da Serra acabou por sombrear a excelência conceitual do projeto.

Sem dúvida, se na época da implantação da primeira pista estivessem já em vigor as normas legais que hoje regulam a questão ambiental, seguramente os trabalhos executivos ou não teriam tido seu início permitido ou certamente teriam sido embargados.

A documentação fotográfica aqui reproduzida expõe, melhor que as palavras, a incrível extensão dos problemas advindos do paradoxo projeto/obra ocorrido nos trabalhos de implantação da primeira pista da Imigrantes.



Escorregamentos generalizados de 1976 atingindo a recém-terminada pista ascendente da Imigrantes e a Estrada de Ferro Sorocabana, ao fundo, na vertente direita do vale do rio Cubatão. (Foto IPT)

A pista descendente

A implantação da pista descendente, imaginada para proporcionar um aumento de capacidade de tráfego no sistema Anchieta/Imigrantes de 8,5 mil veículos/dia para 14 mil veículos/dia, felizmente incorporou o importante aprendizado proporcionado pela execução da primeira pista. Contratada, já no contexto da iniciativa privada, pela concessionária Ecovias, a nova pista teve seu projeto desenvolvido pelo consórcio internacional Ecoenge, formado pela Figueiredo Ferraz Consultoria e Engenharia, pela In.co. e pela Geodata, essas duas últimas empresas italianas respectivamente especializadas em pontes/viadutos e túneis/geotecnia. Para a construção foi escolhido o Consórcio Imigrantes, que reuniu as empresas CR Almeida Engenharia e Construções e a Impregilo, maior construtora italiana.

Inteligentemente, o projeto executivo final, resultado da adequação de pré-projeto elaborado em 1986, ao deslocar o traçado em direção ao maciço, proporcionou a execução de um número menor de túneis (3), porém mais extensos. Com isso, enquanto a primeira pista, com seus 11 túneis, exigia estradas de acesso e frentes de obra para 22 emboques e desemboques, a pista descendente reduziu essa exigência a apenas 6 emboques e desemboques. Foram também aprimoradas as técnicas de início de escavação dos túneis (emboques), reduzindo-se o nível de agressão ao terreno natural. Resultado semelhante obteve-se com a redução da quilometragem em viadutos e o alargamento das distâncias entre pilares, de 45m (pista ascendente) para 90m (pista descendente), o que proporcionou enorme redução no número teoricamente esperado de pontos de obras de fundação profunda e respectivos caminhos de acesso. Adicionalmente a esses expedientes, métodos construtivos inovadores, a utilização de helicópteros para o deslocamento de equipamentos e uma série de providências orientadas para a menor agressão possível às encostas da Serra — como a utilização da própria rocha de escavação dos túneis para produção dos agregados

utilizados no pavimento e obras de concreto —, e também, por certo, a oportunidade de já contar com alguma infra-estrutura anterior de estradas de serviço, permitiram à execução da segunda pista situar-se de forma inteiramente harmônica com as diretrizes filosóficas do projeto.



As duas pistas da Imigrantes, ascendente (inaugurada em 1976) e descendente (inaugurada em 2002) transpõem o Rio Cubatão. A construção da segunda pista, absorvendo os ensinamentos da primeira, por uma série de expedientes construtivos, como aumento da quilometragem em túneis com redução do número de túneis (reduzindo para 6 os 22 emboques que se verificaram na primeira pista), redução da quilometragem em viadutos e aumento da distância entre os pilares, e métodos construtivos de viadutos que minimizaram os trabalhos ao nível do solo, solidarizaram com enorme sucesso o conceito de projeto e o plano de obra, com notáveis resultados geotécnicos e ambientais. (Foto Ecovias)

A pista descendente, com obras iniciadas em 1998, foi aberta ao tráfego em dezembro de 2002. Contou, no trecho de serra, com 3 túneis, perfazendo um total de 8.231m e 9 viadutos, somando juntos 4.270m.

Segundo informações da Ecovias, os cuidados técnicos incorporados na implantação da segunda pista permitiram uma redução de 40 vezes na área da Mata Atlântica afetada pela obra em relação aos trabalhos da primeira pista, além de não induzir desestabilizações nas encostas, excetuadas aquelas poucas situações previstas em projeto e, portanto, resolvidas por meio das obras programadas.

O HOMEM COMO AGENTE POTENCIALIZADOR DA DINÂMICA EVOLUTIVA DA ESCARPA DA SERRA DO MAR

A imponente escarpa da Serra do Mar, responsável, por obséquio de sua topografia acidentada, pela conservação do pouco que nos resta da Mata Atlântica na região sudeste brasileira, cumpre uma espetacular função ambiental, determinante na equação climática regional. Claro, além de sua importância cênica, ecológica, turística e cultural.

É com esse organismo vivo, com suas leis e processos próprios, sua história e dinâmicas evolutivas que a tornam uma região geologicamente extremamente sensível, que estamos lidando. Senão por venerar, até religiosamente, essa entidade natural, a Serra, que seja por um pouco mais de inteligência e responsabilidade que a Engenharia brasileira deva definitivamente agir com cuidados especiais em suas relações com a Serra do Mar, caso não queira continuar colhendo fracassos e tragédias.

De outra parte, todas as feições aluvionares e coluvionares que se espalham das meias encostas ao sopé da Serra, sugerem que não chove mais hoje na região do que já choveu ao longo do Terciário e do Quaternário. É preciso, portanto, ter-se mais cuidado ao se pretender explicar os freqüentes deslizamentos como decorrentes de eventual efeito de mudanças climáticas globais. Por óbvio, uma vez comprovada a hipótese de que como decorrência do aquecimento global os eventos pluviométricos de grande intensidade serão progressivamente mais freqüentes, apenas tornar-se-á mais grave uma situação desde há muito tempo já de extrema gravidade.

No contexto viário, as antigas vias de transposição da serra (Via Anchieta, Estradas de Ferro Sorocabana e Santos-Jundiá, Via Dutra, Rodovia dos Tamoios, Rio-Santos, etc.), que optaram por uma filosofia de projeto de encaixe da estrada nas encostas através de cortes, ainda pagarão um altíssimo preço por esse desatino tecnológico. Somente com a implantação da Rodovia dos Imigrantes, que fez a opção preferencial por túneis e viadutos, de forma a interferir o menos possível nas instáveis encostas, a engenharia viária brasileira atingiu um padrão de projeto plenamente apropriado às características da serra.

Já no contexto urbano as catástrofes estão aumentando sua freqüência e letalidade unicamente como fruto da expansão explosiva das ocupações urbanas sobre as encostas da serra, como sempre sem nenhum cuidado técnico mais adequado às características geológicas e geotécnicas próprias da região. Diga-se de passagem que, com pouquíssimas exceções, a regra geral é a procura das encostas da Serra como um expediente de habitação relativamente barata por parte da população mais pobre. Essa é a determinação de caráter social que tem implicado em tragédias as mais lamentáveis: a população pobre é forçada a buscar o barateamento de seus custos com moradia combinando fatores como distância, irregularidade fundiária, periculosidade, insalubridade, desconforto ambiental e precariedade construtiva.

Uma intenção sincera e responsável da sociedade, através das administrações públicas e das ações de caráter privado, em reduzir drasticamente os acidentes deslizamentos, deve obrigatoriamente equacionar estes dois aspectos que se superpõem hoje com terríveis conseqüências: o fator social e o fator técnico.

Do ponto de vista social, prover a população de alternativas dignas e seguras de habitação, reduzindo assim as pressões para ocupação das encostas da serra. Do ponto de vista técnico, levar em conta as restrições de ocupação da Serra e as recomendações da Geologia de

Engenharia e da Engenharia Geotécnica, expressas especialmente nas Cartas Geotécnicas, mapas que delimitam nas encostas da Serra as poucas áreas passíveis de ocupação (definindo as rígidas regras dessa ocupação) e as áreas das quais o Homem não deve sequer se aproximar, dado seu já alto grau natural de instabilidade.

O FUTURO

Graças à decidida ação da sociedade paulista, por meio de pesquisadores, estudiosos, organizações ambientalistas e culturais, administradores públicos, empresas privadas de engenharia, pode-se dizer hoje que a Serra do Mar, com sua exuberante reserva florestal da Mata Atlântica, está hoje razoavelmente livre das grandes agressões e ameaças de que sempre foi vítima desde o descobrimento do Brasil.

A compreensão de que sua impotência, vizinha às maiores concentrações urbanas do país, é uma bênção para a saúde física e espiritual de dezenas de milhões de pessoas é cada vez maior na consciência de todos, especialmente dos jovens.

Para a preservação desse tão fantástico patrimônio, a contribuição da Ciência e da Tecnologia nacionais é fundamental, uma vez que somente o conhecimento técnico-científico, e a criatividade tecnológica dele decorrente, poderão possibilitar que as indispensáveis futuras intervenções humanas na Serra (estradas, dutos, linhas de transmissão, sistemas de captação de água, etc.) sejam implantadas e operadas sem afetar destrutivamente as condições geológico-geotécnicas e ecológicas naturais.

Aliás, essa deveria ter sido desde há muito tempo a atitude mais correta da tecnologia ante a questão ambiental: gerar concepções e equacionamentos técnico-científicos que tornem possível a implantação dos empreendimentos demandados pelo desenvolvimento econômico e social do país sem o sacrifício de seu patrimônio natural físico e biológico. Esse também deveria ser o virtuoso desafio colocado pelo movimento ambientalista à tecnologia brasileira, preferindo-o à em geral pouco eficaz estratégia da simples contestação e confrontação.

Especificamente sobre as futuras obras viárias de transposição da escarpa da Serra do Mar, talvez seja oportuno lembrar o trabalho “Transposição Viária de Regiões Serranas Através de Túneis Longos” apresentado em 1994 pelo autor do presente livro, pelo engenheiro Tarcisio B. Celestino e pelo geólogo Eraldo L. Pastore ao 3º Simpósio Brasileiro de Escavações Subterrâneas. Nesse trabalho os autores propunham que já para a implantação da pista descendente da Imigrantes fosse considerada a alternativa de adoção de um túnel único ligando o Planalto à Baixada. O argumento dos autores, plenamente válido e atual, indicava que, ponderada a suscetibilidade natural das encostas a escorregamentos, as sensíveis questões ambientais envolvidas, as desgastantes e dispendiosas experiências anteriores de obras viárias na região e os enormes avanços em todo o mundo nas técnicas de abertura de túneis, barateando e aperfeiçoando seguidamente esse tipo de obra, essa alternativa deveria ser seriamente considerada.

Se não o foi totalmente considerada na abertura da segunda pista, pode-se dizer que o foi em grande parte, o que marca positivamente uma tendência que deverá evoluir e ser observada nas próximas obras. Para a conclusão do Sistema Imigrantes de ligação São Paulo–Baixada Santista, resta ainda a ser executado o Ramal de Mongaguá. Da mesma forma, ao longo de toda a Serra do Mar, desde o Rio de Janeiro até Santa Catarina, várias novas ligações viárias Planalto–Baixada já se mostram ou se mostrarão mais à frente necessárias. Nessas oportunidades certamente a opção túnel contínuo, ou túneis longos, deverá ser considerada, com enorme possibilidade de constituir a melhor opção técnico-econômica para os pretendidos empreendimentos.

Um aspecto cultural, estético e arquitetônico deve, no entanto, ser ponderado para as obras viárias que transpõem a Serra, e que, na opção por túneis longos ou contínuos, é

sacrificado. Trata-se da oportunidade dos usuários, em suas viagens, contemplarem um dos mais belos e instigantes cenários proporcionados pela natureza em todo o planeta: a grandiosidade e a incrível beleza dos vales, montanhas, encostas, floresta, rios e riachos, fauna, oferecidos generosamente pela Serra do Mar. Uma contemplação que faz bem ao espírito e inspira um mundo de paz entre os homens e convivência rica com a natureza.

Certamente nossa engenharia e nossa arquitetura saberão compatibilizar em suas concepções de projeto todos os aspectos anteriormente considerados.

Adiante é reproduzido sugestivo texto de depoimento do engenheiro J. C. de Figueiredo Ferraz, sobre sua ousada decisão ao definir um conceito do projeto da primeira pista da Imigrantes apoiado em uma sucessão de túneis e viadutos:

“Por outro lado reinava ainda no nosso ambiente técnico-rodoviário um certo espírito de rejeição em relação à generalização da solução túnel, considerada até como solução extrema, de difícil execução e de custo elevado.

Os métodos tradicionais de construção — ainda atrasados e divorciados das recentes conquistas no campo dos projetos e execução de túneis — determinavam procedimentos onerosos e arriscados, que justificavam plenamente aquela atitude de receio e de certa repelência.

Daí uma dosagem racional do emprego de túneis e de viadutos para não afrontar uma posição técnica reinante. E, paulatinamente, mediante uma quase catequização, ir introduzindo novos conceitos de projeto e, sobretudo, de execução, que revolucionaram as metodologias então em uso no País, e que agora são ultrapassadas.”

No que se refere a outras formas de intervenção nos domínios da Serra do Mar, como ocupações urbanas em morros isolados da Baixada e mesmo nos primeiros contrafortes da Serra, linhas de transmissão, dutos, sistemas de captação e adução de água, aproveitamentos energéticos etc., sem dúvida, impõe-se como diretriz explícita e implicitamente assumida pelos agentes sociais públicos e privados dos estados envolvidos, a decisão de somente interferir na Serra quando de empreendimentos indiscutivelmente indispensáveis para a sociedade. Atendida essa premissa, o conhecimento e a consideração anterior da dinâmica das encostas fazem-se igualmente indispensáveis para orientar a adequação dos projetos, dos respectivos planos de obra e da futura operação e manutenção dos empreendimentos. Para as ocupações urbanas salienta-se a imprescindibilidade do uso da Carta Geotécnica, assim como a adoção de sistemas urbanísticos e métodos construtivos adequados, para orientar, com segurança, expansões da cidade sobre áreas da Serra.

Sob o aspecto tecnológico-gerencial, uma boa e oportuna providência seria a constituição de Comitês Estaduais de Avaliação Tecnológica de Projetos, à análise dos quais obrigatoriamente teriam de ser submetidos e obter aprovação os projetos de todo e qualquer tipo de empreendimento que, de alguma forma, possa vir a interferir nas condições naturais das encostas da Serra.

UM POEMA

SERRA DO MAR

Álvaro Rodrigues dos Santos

*Imponente e deslumbrante escarpa
De duras rochas maciça
És mistério, és esfinge
És uma Deusa impondo
Temor, pasmo e cobiça.*

*Com teus flancos me espantas
Com tuas águas me convidas
Com teu verde me fascinas
Com teus barros me intimidas.*

*Teu colo sensual
Tua pele aveludada
São-me acenos de amante
Ou engodos de cilada?*

*Talvez seja esse o teu capricho,
Por temer a humana orgia
Nega-te como pouso de chegada
Já transformando em odisséia
U'a mera travessia.*

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SABER, A. N. A Evolução geomorfológica, in *A Baixada Santista – Aspectos Geográficos*. São Paulo, EDUSP, 1965, p. 49-66.

_____. A Serra do Mar e a Mata Atlântica. *Boletim Paulista de Geografia*, São Paulo, n. 4, 1950, p. 61-68

_____. Contribuição à Geomorfologia do Litoral Paulista, in *Revista Brasileira de Geografia*, Rio de Janeiro, ano XVII, 1, p. 3-48, 1955.

_____. Espaços Ocupados pela Expansão dos Climas Secos na América do Sul, por Ocasão dos Períodos Glaciais Quaternários. *Revista Paleoclimas*, São Paulo, 3, Instituto de Geografia – Universidade de São Paulo, 1977.

ABRAMENTO, M. *Resistência a Cisalhamento de Solos Não Saturados: Considerações Teóricas e Estudo Experimental sobre Solo Coluvionar das Encostas da Serra do Mar*. 1988, 185p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

ALMEIDA, F. F. M. Considerações sobre a Geomorfogênese da Serra do Cubatão. *Boletim Paulista de Geografia*, São Paulo, v.15, p 3-17, 1953.

_____. Fundamentos Geológicos do Relevo Paulista. In: *Geologia do Estado de São Paulo*. Instituto Geográfico e Geológico, São Paulo, p.167-263. (IGG - Boletim, 41), 1964.

_____. O Planalto Paulistano. In: Azevedo, A. de *A Cidade de São Paulo*. Associação dos Geógrafos Brasileiros, São Paulo, v.1, cap. 4, p. 113-167. 1958.

_____. The System of Continental Rifts Bordering the Santos Basin, Brasil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 48, p. 15-26, 1976.

ALMEIDA, F. F. M.; CARNEIRO, C. D. R. Origem e Evolução da Serra do Mar. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, n.28, p. 135-150, 1976.

AUGUSTO FILHO, O. O Estudo das Corridas de Massa em Regiões Serranas Tropicais: Um Exemplo de Aplicação no Município de Ubatuba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 7., 1993, Poços de Caldas. *Anais...* São Paulo: ABGE, v. 2, 1993.

AZEVEDO, A. (Coordenação Geral). *Baixada Santista – Aspectos Geográficos*. São Paulo: EDUSP, 4 volumes , 1964.

BIGARELLA, J. J.; MOUSINHO, M.R. Considerações a Respeito dos Terraços Fluviais, Rampas de Colúvio e Várzeas. *Boletim Paranaense de Geografia*, Curitiba, n.16/17, p. 153-196, 1965.

_____. Significado Paleogeográfico e Paleoclimático dos Depósitos Rudáceos. *Boletim Paranaense de Geografia, Curitiba*, n.16/17, p. 7-16, 1965.

BIGARELLA, J. J.; MOUSINHO, M. R.; SILVA, J. X. Considerações a Respeito da Evolução das Vertentes. *Boletim Paranaense de Geografia, Curitiba*, n.16/17, p. 85-116, 1965.

_____. Pediplanos, Pedimentos e seus Depósitos Correlativos no Brasil. *Boletim Paranaense de Geografia, Curitiba*, n.16/17, p. 117-152, 1965.

CACHPOLE, P. A Very British Railway, Bodmin, Cornwall, Great Britain. *A Locomotives International Publication*, 84p., 2003.

CARVALHO, C. S. *Estudo da Infiltração em Encostas de Solos Insaturados na Serra do Mar*. 1989. 154p. Dissertação (Mestrado) –Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

DELELLIS, R. *A Era do Trem*. São Paulo: LF&N, 1999.

DERSA. Rodovia dos Imigrantes. In: SEMINÁRIO DERSA, 1., 1976, São Paulo, 1976.

ECOVIAS. A Conquista da Serra do Mar. Fundação Arquivo e Memória de Santos, São Paulo, 2002, 150 p.

FERNANDES, M. A.; VIEIRA, J. Estrada Velha: Aqui a nossa História foi Abandonada. *A Tribuna de Santos*, Santos, 29 jul. 1979.

FÚLFARO, V. J.; PONÇANO, W. L. et al. Escorregamentos de Caraguatatuba: Expressão Atual e Registro da Coluna Sedimentar da Planície Costeira Adjacente. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 1, 1976, Rio de Janeiro. *Anais...* São Paulo: ABGE, 1976. v.2, p. 341-350.

_____. Recent Tectonic Features in the Serra do Mar Regions State of São Paulo Brazil, and its Importance to Engineering Geology. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF ENGINEERING GEOLOGY 2., 1974, São Paulo. *IAEG Proceedings*, v. 1, p. II-7.1-II-7.5, 1974.

GOULART REIS FILHO, N. *Aspectos da História da Engenharia Civil em São Paulo*. CBPO/Livraria Kosmos, 1989. 255p.

_____. *Memória do Transporte Rodoviário*. São Paulo: Editora de Consultoria e Projetos e Artes, 2002, 150p.

GUIDICINI, G.; IWASA, O. Y. *Ensaio de Correlação entre Pluviosidade e Escorregamentos em Meio Tropical Úmido*. São Paulo: IPT, 1976. 48p. (IPT – Publicação, 1080).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Base Físico-territorial do Estado de São Paulo para Recursos Hídricos – Revisão Cartográfica. 3 volumes. DAEE, 1992.

_____. *Estudo das Instabilizações de Encostas da Serra do Mar na Região de Cubatão Objetivando a Caracterização do Fenômeno “Corrida de Lama” e da Prevenção de seus Efeitos*. São Paulo: IPT, 1988. (IPT - Relatório, 26.258).

_____. Levantamento das Condicionantes do Meio Físico e Estabelecimento de Critérios Normativos para a Ocupação Urbana dos Morros de Santos e São Vicente (Carta Geotécnica). São Paulo: IPT, 1978. 00p. (IPT – Relatório, 11.599).

_____. *Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo*. São Paulo. Escala 1:500.000. 1981. 130p. 2v. (IPT – Publicação, 1183 – Monografia, 5).

_____. “Programa Serra do Mar” – Estudos dos Principais Mecanismos de Instabilização. Relatório n.º 25.957, 2 volumes, São Paulo, 1988.

_____. “Programa Serra do Mar – Levantamentos Básicos nas Folhas de Santos e Riacho Grande, Estado de São Paulo”. 4 v, 1986, Relatório n.º 23.394.

INSTITUTO DE ENGENHARIA. *Revista Engenharia*, São Paulo, n.556, 2003.

IRLAN, M. J. *A Gateway to Brasil – The Trunk Line that Climbs a Precipice*. Mike’s Railway History. Disponível em: <http://mikes.railhistory.railfan.net/pindex.html>.

JORNAL ELETRÔNICO Novo Milênio. Histórias e Lendas de Santos. As Curvas da Estrada de Santos. Disponível em: <http://www.novomilenio.inf.br>.

LOPES, J. A. U. The Evolution and Stability of Tropical and Subtropical Hillslopes and their Importance in the Engineering Geology Practice. Proceedings of V IAEG Congress, Buenos Aires, 1986, p. 2029-2038.

LUNA, F. V.; COSTA, I. N. Antecedentes Históricos da Via Anchieta. *O Estado de São Paulo*, São Paulo, ano 2, n.118, 26 nov. 1978. Suplemento, p.14-16.

MOUSINHO, M. R.; BIGARELLA, J. J. Movimentos de Massa no Transporte dos Detritos da Meteorização das Rochas. *Boletim Paranaense de Geografia, Curitiba*, n.16/17, p. 43-84, 1965.

PASTORE, E. L.; CELESTINO, T. B.; SANTOS, A. R. Transposição Viária de Regiões Serranas através de Túneis Longos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ESCAVAÇÕES SUBTERRÂNEAS, 3., 1994, Brasília. ABGE e outras, Anais, São Paulo, 1994, 14p.

PERALTA, I. G. *O Caminho do Mar: Subsídios para a História de Cubatão*. Cubatão: Prefeitura Municipal, 1973.

PIRES NETO, A. G. Alguns Exemplos da Aplicação da Geomorfologia no Estudo da Evolução das Encostas da Serra do Mar. IN: SIMPÓSIO SOBRE PLANEJAMENTO URBANO E REGIONAL, 1979, Santos. Informativo ABGE, São Paulo, 1979.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CUBATÃO. “Cubatão Ontem e Hoje – Um Marco do Desenvolvimento”. São Paulo: Hallison Publicidade Ltda., 1970.

PRANDINI, F. L. et al. *Atuação da Cobertura Vegetal na Estabilidade de Encostas: uma Resenha Crítica*. São Paulo: IPT, 1976. 22p. (IPT – Publicação, 1074).

PRANDINI, F. L.; SANTOS, A. R. et al. *Carta Geotécnica dos Morros de Santos e São Vicente: Condicionantes do Meio Físico para o Planejamento da Ocupação Urbana*. São Paulo: IPT, 1980. 31p. (IPT – Publicação, 1153 – Monografias, 3).

REGIS BITTENCOURT, E. *Caminhos e Estradas na Geografia dos Transportes*. Rio de Janeiro: Editora Rodovia, 1958. 392p.

REGO, M. *A Geologia do Estado de São Paulo*. DER-SP (Separata do Boletim DER), São Paulo, 1950.

RODRIGUES, J. C.; NOGAMI, J. S. *Estudo de Geologia Aplicada na Via Anchieta*. In: CONGRESSO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM, 8., DNER, 1950, Rio de Janeiro.

_____. *Geologia do Escorregamento da Cota 95 da Via Anchieta*. In: CONGRESSO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM, 8., DNER, 1950, Rio de Janeiro.

RODRIGUES, R. *Características Geológicas e Geotécnicas Intervenientes na Estabilidade de Massas Colúviais da Serra do Cubatão – SP*, 1992, 116p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos – Departamento de Geotecnia, Universidade de São Paulo.

SADOWSKI, G. R. *Tectônica da Serra de Cubatão*. Instituto de Geociências, 1974, 159p. Tese de Doutorado – Universidade de São Paulo, São Paulo.

SAES, F. A. M. *As Ferrovias de São Paulo*. São Paulo: Hucitec/INL/MEC, 1981.

SAINT-HILAIRE, A. *Viagem à Província de São Paulo*. Belo Horizonte: Itatiaia/EDUSP, 1976. 220 p.

SALVADOR, V. (Frei). *História do Brasil*. 1627. São Paulo, Melhoramentos, 1954.

SANTORO, E.; CUNHA, M.A. Estudos Geológico-geotécnicos para Consolidação de uma Ferrovia Localizada na Serra de Cubatão (Sorocabana). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 1, 1976, Rio de Janeiro. *Anais...* São Paulo: ABGE, 1976. v.1, p. 371-383.

SANTOS, A. R. Dinâmica Externa da Serra do Mar: Constatações, Verificações e Impressões. In _____. *Geologia de Engenharia – Conceitos, Método e Prática*. São Paulo: IPT/ABGE, 2002. p.130-135. (IPT – Publicação, 2797).

SANTOS, F. M.; LICHT, F. M. *História de Santos/Poliantéia Santista*. Caudex, 1996. São Vicente–SP, V III.

SOUKEF JR., A. *Estrada de Ferro Sorocabana, uma Saga Ferroviária*. São Paulo: Latin American Documentary, 2001.

TABARELLI, M.; MANTOVANI, W. A Riqueza de Espécies Arbóreas na Floresta Atlântica de Encosta no Estado de São Paulo (Brasil). *Revista Brasileira de Botânica, São Paulo*, v.22, n.2, 12 p., ago. 1999.

TATIZANA, C. et al. Análise de Correlação entre Chuvas e Escorregamentos na Serra do Mar, Município de Cubatão –Modelamento Numérico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 5., 1987, São Paulo. *Anais...* São Paulo: ABGE, 1987. v.2, p.225-236.

TEIXEIRA, A. H.; KANJI, M. A. Estabilização do Escorregamento da Encosta da Serra do Mar na Área da Cota 500 da Via Anchieta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, 4, 1970, Rio de Janeiro. *Anais*, Rio de Janeiro, v.1, p. 33-53, 1970.

TOLEDO, B. L. A Cidade de Santos: Iconografia e História. *Revista TSP*, São Paulo, Engenho dos Erasmos, n.41, mar./maio, 1999.

TOLEDO, B. L. Do litoral ao planalto. A conquista da Serra do Mar. *Teveista PosFAUUSP*, São Paulo, (8), 150-167, 2.000.

VARGAS, M.; PICHLER, E. Residual Soil and Rock Slides in Santos – Brazil. ICSMFE, 4. London. *Proceedings*, v. 2, p. 394-398.

VARGAS, M. Estabilização de Taludes em Encostas de Gnaisses Decompostos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, 3, 1966, Belo Horizonte. *Anais*, Belo Horizonte, v.1, p.32-55.

VARGAS, M. Revisão Histórico-Conceitual dos Escorregamentos da Serra do Mar, 1999. *Revista Solos e Rochas*, São Paulo, 22, (1): p. 53-83.

WOLLE, C. M. *Análise dos Escorregamentos Translacionais numa Região da Serra do Mar no Contexto de uma Classificação de Mecanismos de Instabilização de Encostas*. 1988, 406p. Tese de Doutorado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

WOLLE, C. M. *Taludes Naturais – Mecanismos de Instabilização e Critérios de Segurança*. 1980. 345p. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

WOLLE, C. M. et al. *A Slide Mechanism in the Slopes of the Serra do Mar Southern Brazil*. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF ENGINEERING GEOLOGY, 3., 1978, Madrid. *Proceedings IAEG*, Madrid, 1978.

WOLLE, C.M.; CARVALHO, C.S. Deslizamentos em Encostas na Serra do Mar. ABMS. *Revista Solos e Rochas, São Paulo*, v. 12, p. 27-36, 1989.

WOLLE, C. M.; HACHICH, W. Rain-induced Landslides in Southern Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 12., 1989, Rio de Janeiro. *Proceedings*, 1989.

WOLLE, C. M.; PEDROSA, J. A. B. Horizontes de Transição Condicionam Mecanismo de Instabilização de Encostas na Serra do Mar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 3, , 1981, Itapema – SC. ABGE, Anais, São Paulo, v. 2, p.121-135, 1981.

AGRADECIMENTOS

Registro meus especiais agradecimentos às empresas que, com seu inestimável apoio, possibilitaram a edição deste livro — IPT, Figueiredo Ferraz, Construcap, EMAE, Gemmam, Alphageos, YPS. Da mesma forma, às empresas Carbinox e Walm Engenharia Ambiental, pela valiosa ajuda em minhas atividades de pesquisa.

Foi com indisfarçável orgulho, mas também com aumento de responsabilidade, que recebi o apoio de empresas tão reconhecidas no mundo tecnológico brasileiro. Espero que o livro corresponda à confiança tão gentilmente conferida.

Álvaro Rodrigues dos Santos