



Rodovia dos Imigrantes



Rodovia dos Imigrantes



Sumário

Introdução

Introdução • 5
Contexto geral • 5
Importância da Rodovia • 5

Histórico • 6

Viadutos Estudo de alternativas e processos construtivos • 8
Tipologias estruturais escolhidas • 10
Estudo de alternativas • 19

Fundações • 22

Meio Ambiente • 24
Compromisso da engenharia com o desenvolvimento sustentável • 24

Quantitativos Principais • 28

Créditos do projeto • 29



Contexto geral

A Figueiredo Ferraz se orgulha de ter participado desde sua fundação na década de 40 da concretização do sonho da ligação de pujança econômica da cidade de São Paulo, no alto do seu planalto, ao mar, 800 metros Mata Atlântica abaixo.

Tendo participado do projeto dos viadutos da Via Anchieta (década de 40), o Prof. José Carlos de Figueiredo Ferraz, preparou sua empresa para 30 anos depois desenvolver o projeto da pista ascendente da Rodovia dos Imigrantes. Este projeto inovador revolucionou a engenharia de túneis no país ao introduzir, adaptar e desenvolver o método NATM de escavação de túneis.

Novamente 3 décadas depois, a Figueiredo Ferraz se notabiliza pelo mais arrojado Projeto Rodoviário Nacional. A pista descendente da Rodovia dos Imigrantes, projeto que se tornou ícone da capacidade da engenharia de viabilizar projetos grandiosos com imensas restrições ambientais, em zonas de preservação florestal.

Neste projeto vencemos o desafio atual de compatibilizar o desenvolvimento econômico e social com a preservação do meio ambiente.

O projeto e a obra de engenharia da Rodovia dos Imigrantes - segunda pista trecho Serra, foi agraciada com o "Prêmio Panamericano de Desenvolvimento Sustentável - Ing. Luis Wannoni Lander" pela UPADI - União Panamericana de Associações de Engenharia em agosto de 2003.

Importância da Rodovia

O complexo formado pelas rodovias Anchieta e Imigrantes é um dos principais corredores do Brasil, e tem vital importância para a economia brasileira, pois liga a região metropolitana de São Paulo, uma das áreas de maior concentração populacional e industrial da América Latina, ao Porto de Santos e ao litoral do Estado, área de grande importância turística;

A Segunda Pista da Rodovia dos Imigrantes ampliou em 70% a capacidade de tráfego da rodovia, por onde passam hoje cerca de 14 mil veículos por hora e uma parcela significativa das exportações brasileiras.

Histórico

A segunda pista da Rodovia dos Imigrantes, inaugurada em 2002, no Estado de São Paulo, liga sua capital, a maior da América do Sul, ao Porto de Santos, o maior do Brasil. Em 21 km de extensão, seu trecho serra vence desnível de 700m em área de preservação da Mata Atlântica, o Parque Estadual da Serra do Mar.

Trata-se da maior obra rodoviária executada na América do Sul nos últimos anos.

A nova pista descendente (Planalto – Baixada) integra o Sistema Anchieta-Imigrantes- SAI, constituído pela Via Anchieta, construída na década de 1950 e pela Rodovia dos Imigrantes, composta pelas pistas ascendente, executada na década de 1970 e pela descendente. Seu projeto e construção constituíram o principal encargo do contrato firmado pela Concessionária Ecovias dos Imigrantes S/A com o Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo para administração, operação e ampliação do Sistema SAI.

Sua implantação resultou em grande desafio ecológico para os envolvidos, a Concessionária Ecovias dos Imigrantes, a projetista – Figueiredo Ferraz Consultoria e Engenharia de Projeto Ltda (através do Consórcio Ecoenge), e a construtora – C.R. ALMEIDA Engenharia de Obras (através do Consórcio Imigrantes), que adequaram as características técnicas da rodovia às exigências da legislação ambiental, com a recuperação da estrada de serviço, implantada à época da pista ascendente, e a utilização de tecnologia de ponta aliada aos mais atualizados métodos construtivos.

Isto possibilitou reduzir em 40 vezes o impacto à Mata Atlântica, em comparação ao causado quando da execução da primeira pista.

A Figueiredo Ferraz, associada à Alpina Spa, de Milão, foi o consórcio incumbido de desenvolver os projetos da primeira pista, no final da década de 60, quando, além do projeto da rodovia, foi desenvolvido o projeto da estrada de serviço, resguardando as condições geológicas, geotécnicas e ambientais então vigentes. A estrada de serviço possibilitou a implantação das duas pistas da Rodovia dos Imigrantes, permitindo o trânsito de materiais, equipamentos e pessoal necessários ao desenvolvimento das obras.

Em 1986, a Figueiredo Ferraz foi contratada, pelo Estado de São Paulo, para o projeto básico da pista descendente, de tal maneira a incorporar a experiência do empreendimento anterior, a pista, data de início do projeto implantado. O projeto atendeu, também, aos seguintes quesitos:



Foto: Figueiredo Ferraz

- Proteção às nascentes, mantendo a sua potabilidade e permitindo o seu uso por comunidade e usuários.
- Projeto de drenagem das águas pluviais, dimensionadas atendendo aos critérios e períodos de recorrência definidos na normalização vigente, conduzidas aos córregos e rios sem prejudicar significativamente as respectivas vazões.

Destacamos a seguir alguns itens que foram incorporados aos estudos, consolidando os conhecimentos adquiridos no projeto da pista ascendente:

- Problemas de instabilidade de encosta geraram a necessidade de dispendiosas obras de contenção, que solicitam constantes cuidados de observação e manutenção. O acompanhamento das obras de implantação da pista ascendente mostrou que tais problemas seriam minimizados se o eixo da pista descendente fosse deslocado para montante, em relação à pista ascendente, penetrando mais profundamente no maciço da serra do Mar. Tal procedimento resultaria em um maior número de túneis e em um menor número de viadutos. Permitiria, também, para os túneis, uma construção mais rápida e econômica por se inserir em um maciço rochoso com melhores características geo-mecânicas.
- Aumento do comprimento dos túneis, e conseqüente diminuição do seu número, acarretando um menor número de emboques que correspondem a elementos agressivos ao meio ambiente, gerando condições favoráveis para instabilidades da encosta e acréscimos no custo das contenções.
- Localização criteriosa dos emboques para que tornasse possível a utilização dos caminhos de serviço existentes, necessitando apenas de intervenções localizadas para a criação de praças de trabalho para implantação dos emboques.
- Processo construtivo dos viadutos que privilegiasse a industrialização, evitando a necessidade de equipamentos de grande porte que implicasse em condições especiais para a sua movimentação ou utilização.



Viadutos Estudo de alternativas e processos construtivos

Durante a fase de Projeto Básico da Pista Descendente, foram estudadas e orçadas 12 tipologias estruturais para cada local de implantação de viaduto, o que permitiu a escolha da solução que melhor atendesse aos critérios técnicos e econômicos do empreendimento.

Estudo de alternativas

Alternativa	Vão	Concepção	Material	Seção	Método Construtivo
01	35	Contínua	Concreto	Grelha 6 vigas	Treliça
02	45	Contínua	Concreto	Aduela pré-moldada	Balanço sucessivo
03	45	Contínua	Aço-concreto	Celular	Empurrada
04	45	Contínua	Concreto	Celular	Empurrada
05	45	Isostática	Concreto	Grelha 6 vigas	Treliça
06	45	Isostática	Aço-concreto	Grelha 6 vigas	Treliça
07	45	Isostática	Aço-concreto	Grelha 5 vigas	Treliça
08	45	Contínua	Concreto	Aduela in loco	Balanço sucessivo
09	90	Contínua	Concreto	Aduela pré-moldada	Balanço sucessivo
10	90	Contínua	Aço-aço	Celular ortotrópico	Empurrada
11	90	Contínua	Aço-aço	Celular ortotrópico	Balanço sucessivo
12	90	Contínua	Aço-concreto	Treliça	Empurrada

Tipologias estruturais escolhidas

Viadutos em balanços sucessivos



Junta de dilatação



Construção dos viadutos



Pilar

Tabuleiro

Superestrutura em seção mono celular executada pelo método dos balanços sucessivos moldados in loco, balanceada em relação aos pilares, em duplo disparo.

A continuidade posterior é proporcionada, após a concretagem do fecho do vão central, pela protensão dos cabos positivos cujas bainhas foram previamente locadas durante a execução dos balanços..

Pilares

Os pilares são concebidos na forma de lâmina dupla para alturas de até 25 m. Cada lâmina tem espessura de 0,90 m por uma largura constante de 7,00 m.

Para pilares maiores que 25 m, as lâminas engastam-se em pilares celulares de dimensões externas iguais a 4,50 por 7,00 m, em perfeita concordância com as dimensões das lâminas. Os pilares mais altos têm alturas de até 58,0m.

Esta solução garante a flexibilidade necessária à

estrutura, permitindo a execução de grandes extensões de obra sem junta de dilatação. No caso da pista descendente foram dispostas juntas com até 400m de separação entre elas.

Juntas de Dilatação

As juntas de dilatação previstas em projeto suportam os deslocamentos das estruturas que chegam a atingir valores máximos de até 300 mm.

Blocos de Fundação

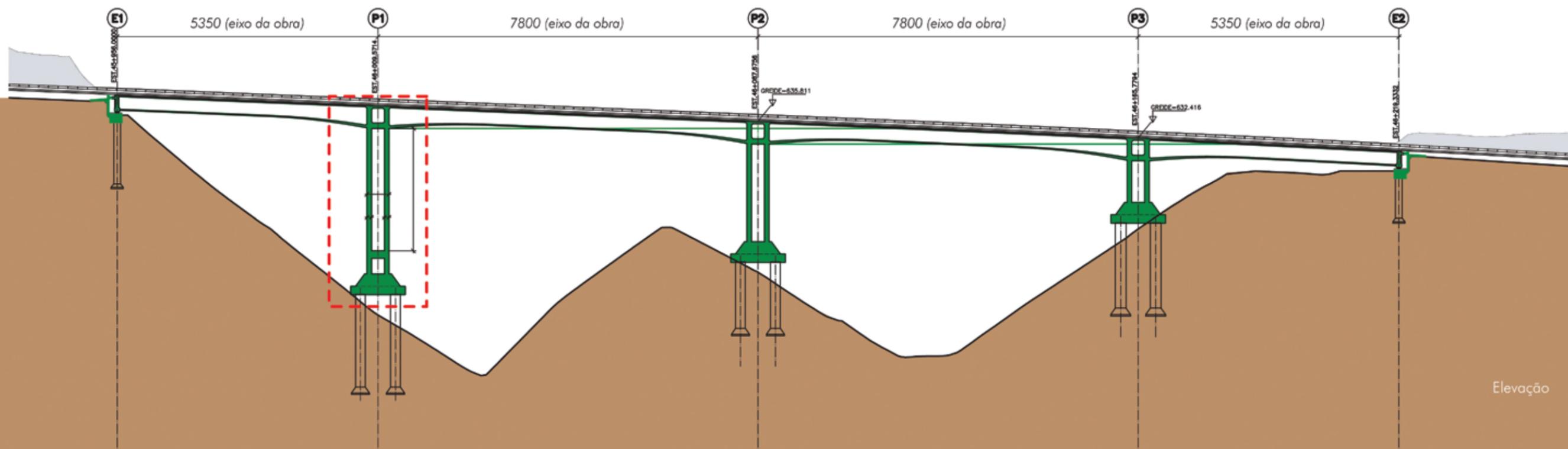
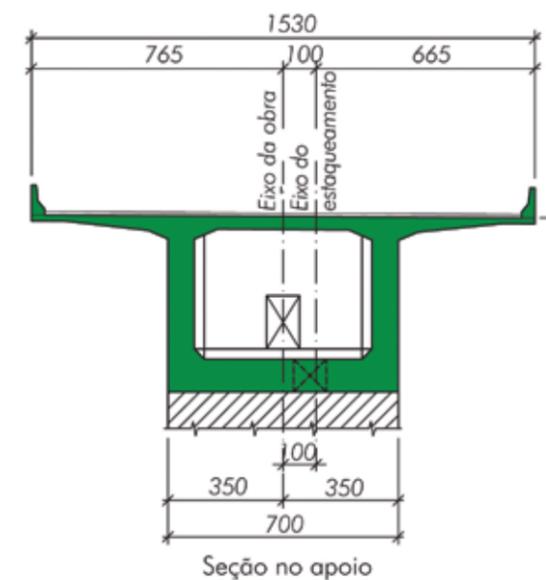
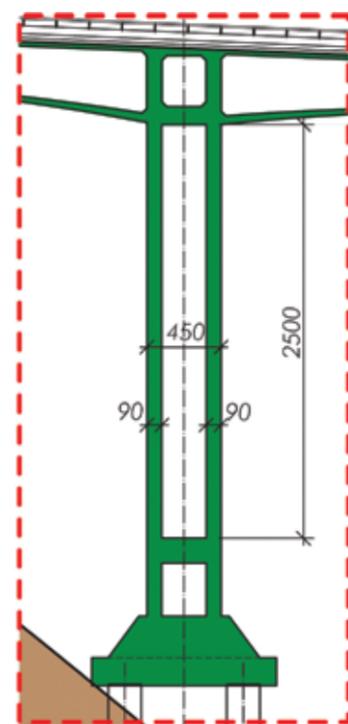
Os blocos de fundação são em concreto armado com dimensões compatíveis com os tubulões de apoio e às cargas atuantes. Apresentam seção tronco-piramidal, garantindo ao conjunto um excelente padrão estético, aspecto bastante importante por se tratarem de elementos estruturais visíveis.

Características Geométricas

Viaduto	Extensão	Largura do tabuleiro	Altura do pilar	Modulação de vãos
VD 01	-262,00 m	-15,30 m	-34,00 m	-(53- 78- 78- 53) m
VD 02	-191,00 m	-15,30 m	-30,00 m	-(55- 81- 55) m
VD 03	-602,00 m	-15,30 m	-56,00 m	-(56- 85- 80- 80- 80- 56) m
VD 04	-208,00 m	-15,30 m	-13,00 m	-(59- 59- 30- 30) m
VD 07	-1266,00 m	-15,30 m	-58,00 m	-(55- 85- 88- 75- 85- 90- 90- 90...60) m

Elevações longitudinais e detalhes

Balanços sucessivos, tipologia para VD01, VD04 e VD07



Elevação

Viadutos por deslocamentos progressivos

Foram projetados 2 viadutos para o trecho Baixada da Pista Descendente da Rodovia dos Imigrantes apresentando basicamente as seguintes características técnicas :

Tabuleiro

Superestrutura protendida, em seção mono celular, com vãos de 50m, executada em módulos de 25 m, pelo método dos deslocamentos progressivos a partir de um canteiro situado na região anterior do encontro E1 de montante.

A execução é feita por deslocamentos de segmentos de tabuleiro de comprimento igual à metade do vão típico, com solidarização estrutural e estática garantida pela continuidade das armaduras convencionais e de protensão.

O deslocamento da estrutura, auxiliado por um nariz metálico de 36m de comprimento, é feito sobre apoios deslizantes provisórios posicionados sobre os pilares, com dispositivos de freio contínuo em face das inclinações de greide serem bem superiores aos valores limites do atrito entre as superfícies.

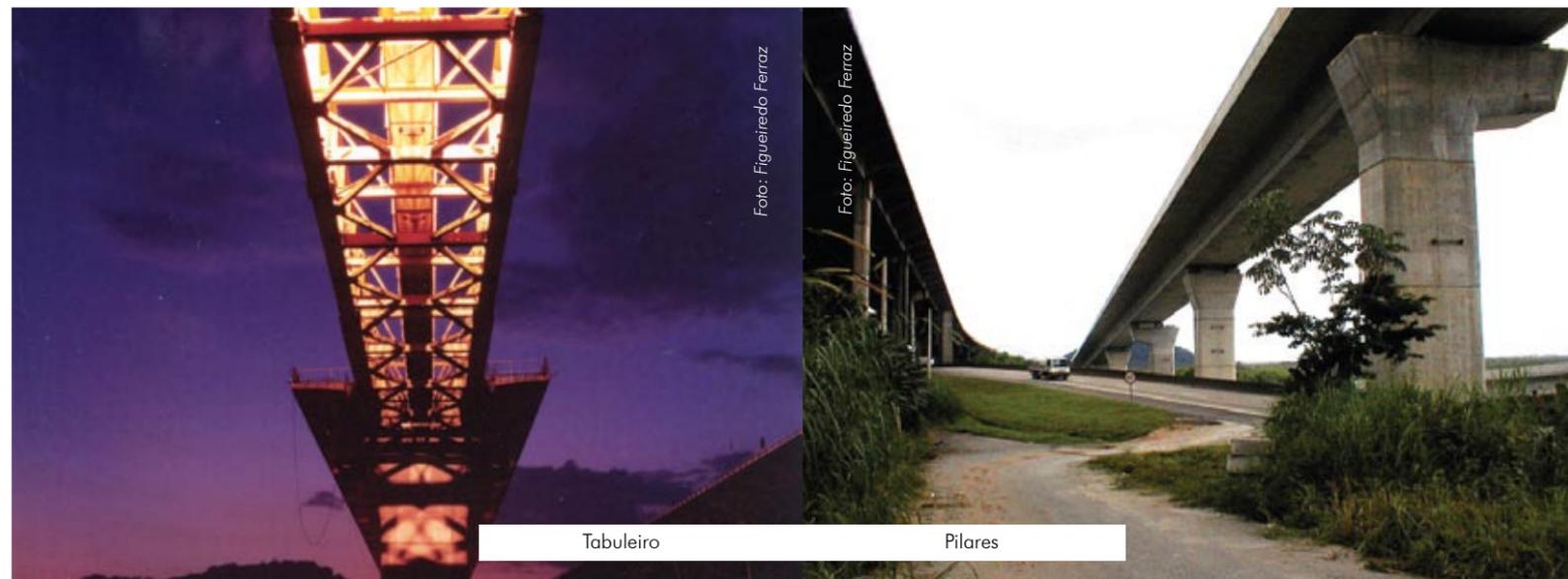
Pilares

Os pilares foram concebidos na forma de seção celular apresentando alturas de até 18 metros. Apresentam rigidez suficiente para suportar as solicitações durante as fases construtiva e final.

Os aparelhos de apoio para os pilares são deslizantes uni-direcionais, com capacidade máxima de 1000 tf., e posicionados após a completa execução da obra.

Encontros

Os encontros de montante, projetados em concreto convencional, desempenham uma função importante na execução da obra.

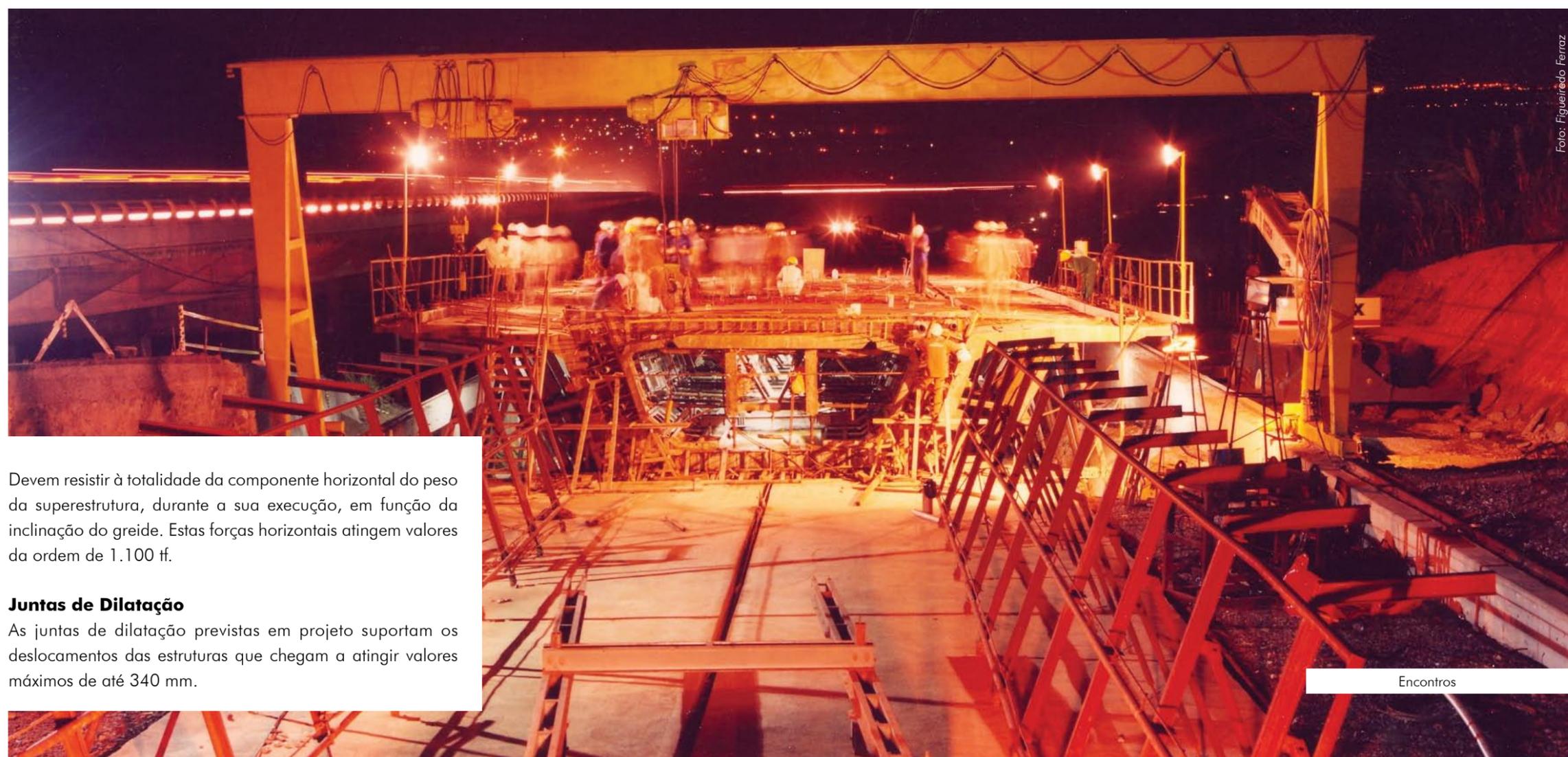


Tabuleiro

Pilares

Características Geométricas

Viaduto	VD 08	VD 10
Extensão empurrada	-473,00 m	-523,00 m
Largura do tabuleiro	-12,30 m	-12,30
Altura máxima do pilar	-18,00 m	-14,00 m
Modulação de vãos	-(36,5- 50- 50- 50- 50- 50- 50- 36,5) m	-(36,5- 50- 50- 50- 50- 50- 50- 36,5) m
Inclinação do gleide	-5,6%	-6,4%



Encontros

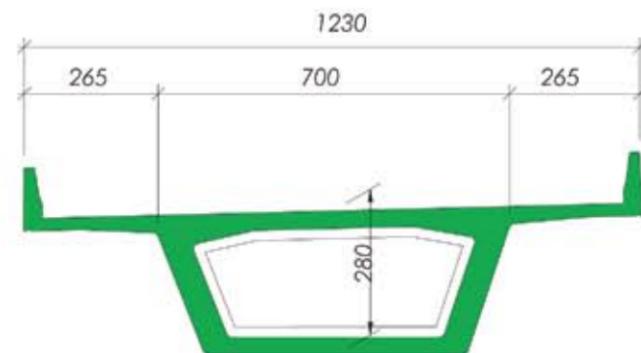
Devem resistir à totalidade da componente horizontal do peso da superestrutura, durante a sua execução, em função da inclinação do greide. Estas forças horizontais atingem valores da ordem de 1.100 tf.

Juntas de Dilatação

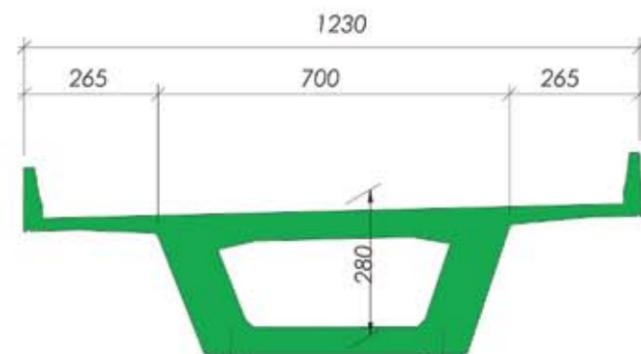
As juntas de dilatação previstas em projeto suportam os deslocamentos das estruturas que chegam a atingir valores máximos de até 340 mm.

Elevações longitudinais e detalhes

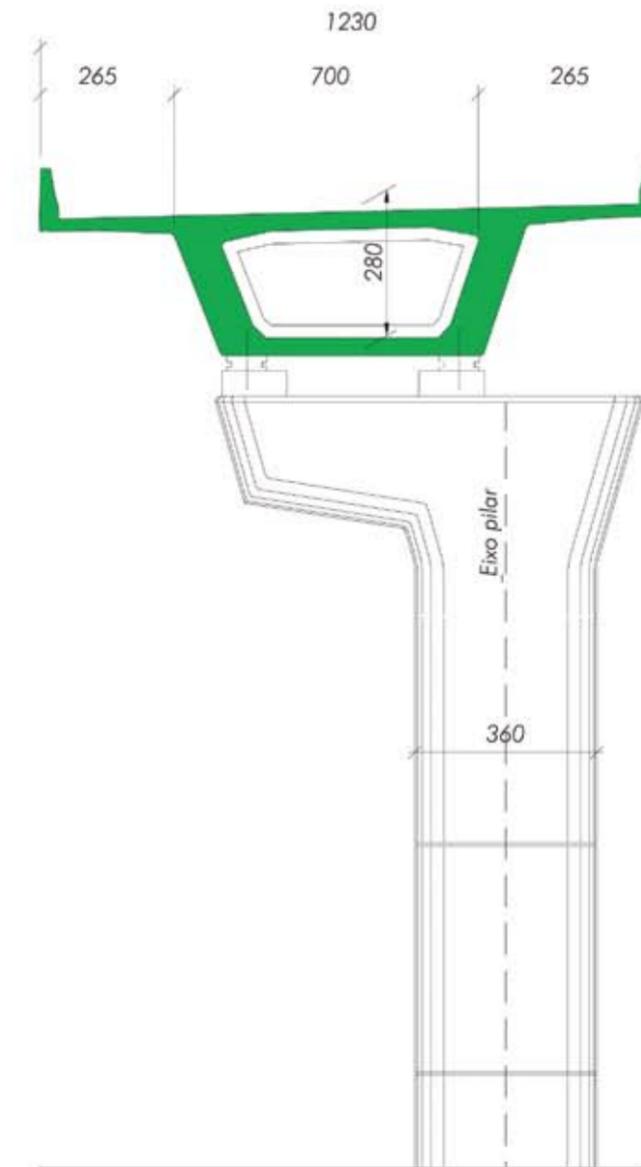
Estrutura empurrada



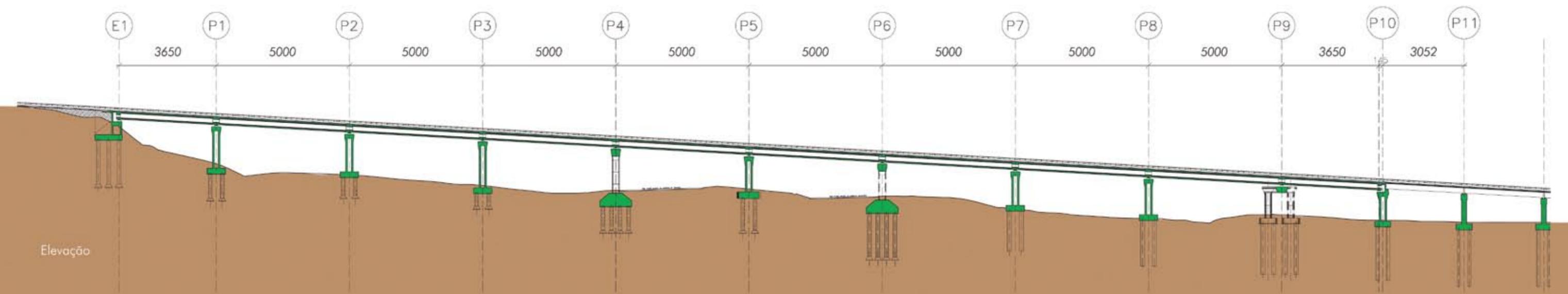
Seção típica no meio do vão



Seção típica nos apoios



Seção típica nos apoios especiais



Elevação

Viadutos em grelha pré-moldada



Foram projetados, total ou parcialmente, 5 viadutos utilizando-se esta tipologia estrutural, para os trechos Serra e Baixada da Pista Descendente da Rodovia dos Imigrantes, apresentando basicamente as seguintes características técnicas :

Tabuleiro

Superestrutura em grelha, composta por 6 vigas pré-moldadas protendidas solidarizadas posteriormente à laje de concreto. Apresenta vãos da ordem de 35m, com continuidade garantida pela laje a cada 3 vãos, reduzindo a incidência das juntas de dilatação.

Pilares

Os pilares foram concebidos na forma de seção celular apresentando alturas de até 12 metros.

Vista aérea



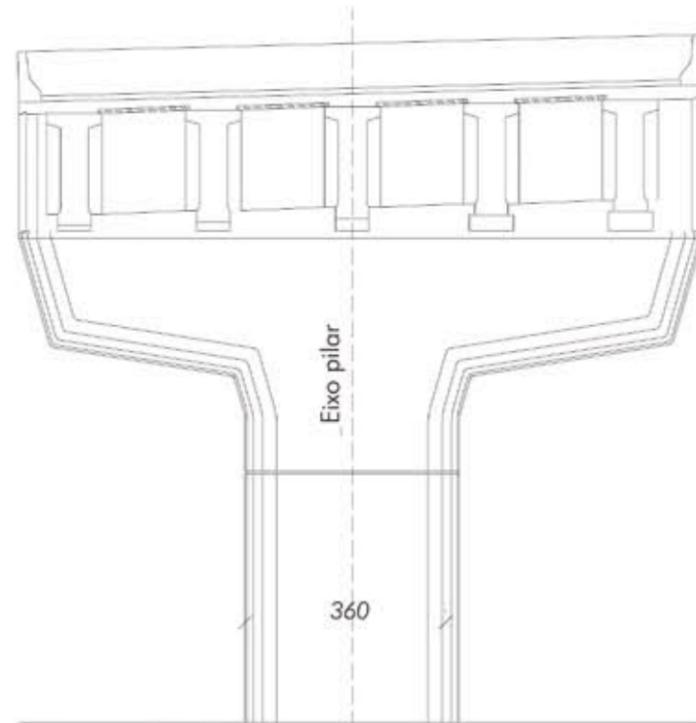
Pilares

Estudo de alternativas

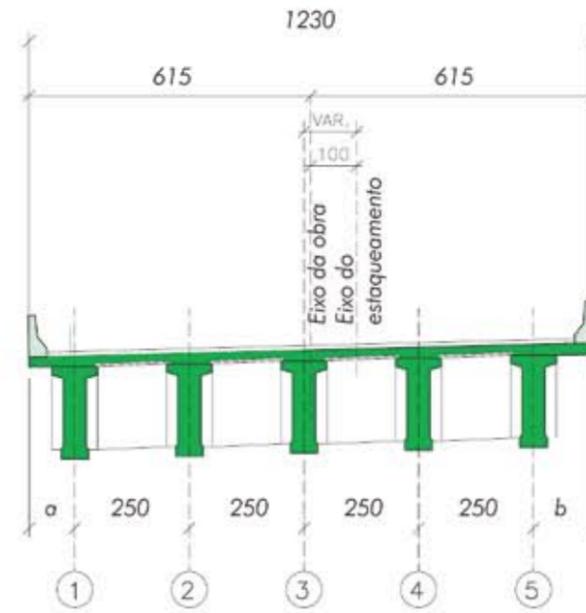
Viaduto	Extensão total em viga pré-moldada	Largura do tabuleiro
VD 04	144,00 m	15,30 m
VD 05/ 06	74,00 m	15,30 m
VD 07	212,00 m	15,30 m
VD 08	249,00 m	12,30 m
VD 09	273,00 m	12,30 m

Elevações longitudinais e detalhes

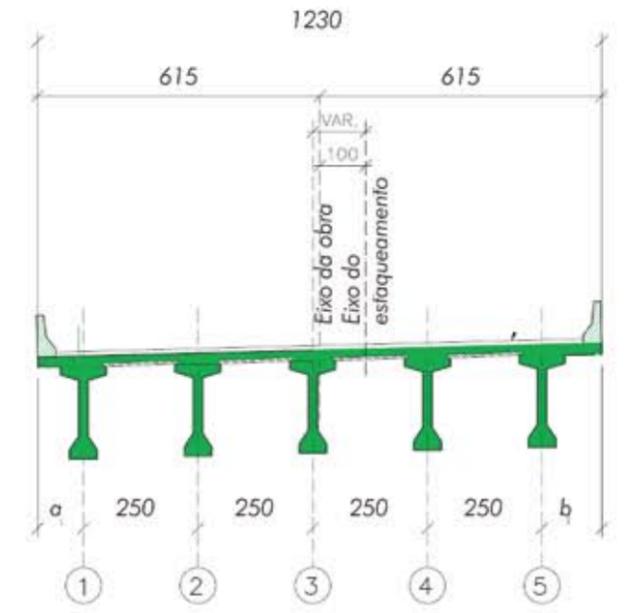
Vigas pré-moldadas



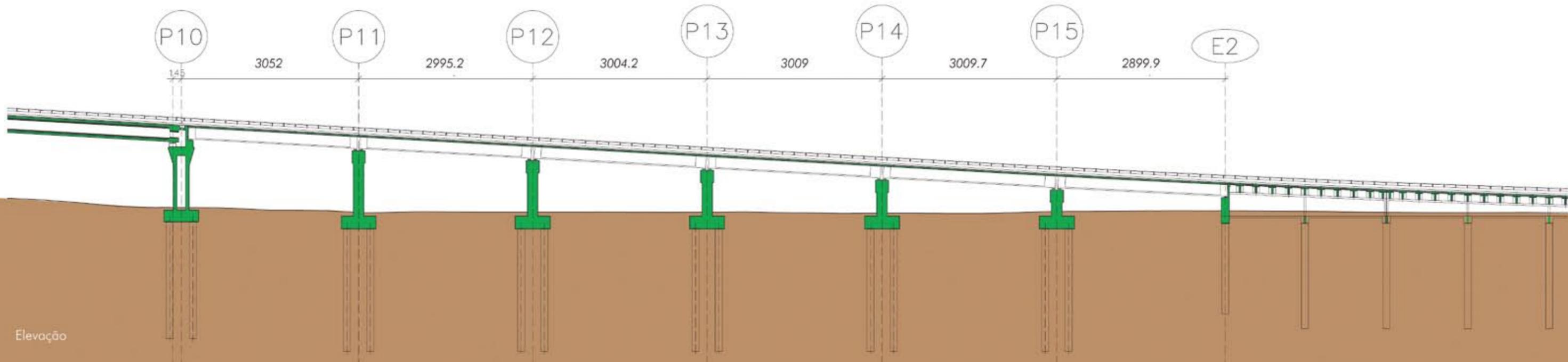
Vista típica dos pilares



Seção típica no apoio



Seção típica no meio do vão



Elevação

Fundações

A escolha das fundações dos viadutos no trecho Serra, dadas as peculiaridades, com topografia extremamente acidentada e restrições ambientais do Parque Estadual da Serra do Mar, fez recair em soluções que procuraram minimizar os efeitos do desmatamento, evitando, ao mesmo tempo, a instabilização das encostas e portanto interferência no Meio Ambiente. Desta forma, após a análise das investigações geológicas e geotécnicas, aliadas às solicitações em cada pilar, a solução para as fundações dos viadutos que melhor atendia, tanto no aspecto técnico como no econômico, foi a execução de fundações profundas em tubulões.

Os tubulões previstos para os viadutos da pista descendente, são com camisa de concreto com diâmetros de fuste variando de 1,20m para a região dos encontros e até 2,40 metros para os apoios intermediários, dependendo evidentemente das solicitações de cada apoio.

A experiência adquirida durante a implantação da Pista Ascendente confirma o acerto na adoção de tubulões escavados manualmente, uma vez que, a medida que a escavação prossegue, esta solução permite que seja feita a inspeção das paredes da escavação, com a verificação de eventuais



Foto: Figueiredo Ferraz

anomalias de natureza geológica ao longo da profundidade e principalmente na cota de assentamento.

Devido à magnitude dos esforços solicitantes, as bases dos tubulões mais carregados chegaram a 4,60 metros. Na região de encontros dos viadutos junto aos emboques de túneis foram adotados soluções em micro estacas e estacas raiz.

Nas regiões de ocorrência de corpos de talus foram previstos anéis de proteção de concreto ao redor dos tubulões com a finalidade de evitar os empuxos provenientes da movimentação deste horizonte que pode chegar a 15,0 metros de espessura, no viaduto VD-07, no vale do Rio Cubatão.

Durante a fase de detalhamento do projeto, algumas alterações foram introduzidas principalmente nas fundações dos viadutos na chagada à Baixada. Como o acesso dos equipamentos às obras foi facilitado pelas condições topográficas junto à Rodovia Padre Manoel da Nóbrega, e estando fora da região de proteção ambiental, as fundações foram re-estudadas, juntamente com o Consórcio Construtor de modo a mecanizar o sistema de execução das mesmas.

Desta forma, as fundações passaram a ser em estacas escavadas de grande diâmetro, tendo sido distinguidas duas principais situações: a primeira em que as estacas estavam localizadas em sedimentos recentes, pouco consolidados, onde tiveram que ser embutidas no maciço rochoso, e a segunda situação em que as estacas estavam embutidas em solo de alteração, que apresentava resistência suficiente para absorver os esforços.

Nos apoios onde as condições de acesso de equipamentos não foi possível, a solução em tubulões foi mantida.

Foto: Figueiredo Ferraz

Meio Ambiente

Compromisso da engenharia com o desenvolvimento sustentável

Atravessar a Serra do Mar com uma rodovia tornou-se um desafio de engenharia no qual os aspectos ambientais passaram a ser tão relevantes quanto os aspectos técnicos e econômicos envolvidos.

De uma forma abrangente foram três os grandes desafios:

- Desafio natural de vencer em poucos quilômetros, um desnível de 730 metros entre o trecho do Planalto e a Baixada Santista;
- Desafio de enfrentar uma geologia composta de ampla gama de materiais de distintos comportamentos;
- Desafio de projetar e construir uma rodovia que atravessa uma área de enorme importância ambiental: o Parque Estadual da Serra do Mar;

O Parque Estadual da Serra do Mar é reconhecido pela UNESCO como reserva da biosfera da Mata Atlântica e do cinturão verde São Paulo.

A Mata Atlântica abrange um dos ecossistemas mais ricos e ameaçados do planeta, abundante em árvores de grande porte, plantas raras e uma variada vida animal que formam uma das maiores concentrações de biodiversidades existentes.

Várias medidas foram tomadas para minimizar os efeitos da construção da rodovia sobre o Meio Ambiente, tanto na fase de projeto quanto na construção:

- Alteração do traçado original, com o aprofundamento do eixo original da rodovia no maciço da Serra do Mar, baseando-se na

construção de túneis mais longos e viadutos com vãos maiores e, portanto, com menor número de pilares, reduzindo os elementos agressivos ao Meio Ambiente;

- Construção dos canteiros de obras nas mesmas áreas já degradadas e utilizadas para a mesma finalidade, quando da construção da Pista Ascendente;
- Localização criteriosa dos emboques, para que se tornasse possível a utilização dos caminhos de serviço já existentes, necessitando apenas de intervenções localizadas para a criação de

praças de trabalho para implantação dos emboques;

- Aproveitamento da estrada de serviço implantada para construção da Pista Ascendente, não intervindo assim nas áreas preservadas;
- As medidas tomadas pelas decisões de traçado da rodovia, pelo seu aproveitamento de áreas já desmatadas e do caminho de serviço anterior, permitiu que o desmatamento ficasse restrito a apenas 40 hectares, sendo apenas a metade deles de mata nativa;

Pessoas

- Aproveitamento quase integral de mão de obra local, beneficiando as comunidades da região, com a geração de 4.500 empregos diretos e até 14 mil empregos indiretos;
- Implantação de um Programa de Monitoramento Ambiental pela concessionária Ecovias dos Imigrantes S/A, contratante da obra;
- Criação de um Departamento de Meio Ambiente da CR Almeida S/A, ativo do início ao final dos trabalhos de construção e que chegou a ter em seus quadros mais de 40 funcionários, sendo 02 deles, engenheiros;
- Educação ambiental: mais de 4.500 funcionários passaram por palestras de integração referentes aos cuidados com o meio ambiente;

Água

- Implantação de 4 Estações de tratamento de Água, com capacidade para processar até 700 mil litros/hora, que permitiram devolver à natureza, sem impurezas, as águas geradas nas escavações dos 3 túneis, medida inédita no Brasil em obras desse porte;
- Implantação de sistemas de retenção de sedimentos, controle e monitoramento de assoreamento de drenagens naturais;
- Monitoramento da qualidade das águas das drenagens naturais com mais de 20 pontos de monitoramento de pH, cor e turbidez;
- Implantação de uma estação de tratamento de esgotos para tratar os efluentes sanitários gerados em nível terciário, garantindo a remoção de mais de 95% da carga poluidora, sendo os efluentes restantes também removidos para área externa e previamente preparada;

Flora e Fauna

- Resgate e replantio de plantas raras, dentre elas algumas espécies de bromélias e orquídeas e coleta de material botânico das áreas de desmatamento;
- Demarcação e controle rígido das áreas de intervenção com desmatamento autorizado;
- Controle de processos erosivos e proteção superficial de taludes;
- Recuperação de áreas de intervenção com o replantio de 10 mudas de árvores nativas para cada unidade removida do solo;
- Captura e translocação de animais das frentes de serviços, bem como o resgate de animais feridos;

- Controle rígido da destinação final de resíduos: o lixo gerado pelas 2.500 refeições servidas diariamente aos operários era acondicionado em câmaras frigoríficas até seu recolhimento por veículos especiais;
- Utilização de sanitários químicos nas frentes de serviço;
- Sistema de controle de poeira nas Centrais de Britagem e de Concreto;
- Sistemas de decantação e recirculação de água nas centrais de Concreto;
- Instalação de centrais de abastecimento de combustíveis e óleos dentro de reservatórios segregados, com capacidade duas vezes superior a dos tanques, de forma a não afetar o meio ambiente na eventualidade de um vazamento;
- Construção de um sistema de coleta de líquidos derramados nas pistas, tanto para os túneis como para os viadutos;
- Natureza preservada, com benefícios às comunidades que vivem na região;
- Patrimônio biológico para as futuras gerações;
- Uma obra entregue cinco meses antes do prazo contratual;
- Mudança de paradigmas na Engenharia: “Engenharia e Meio Ambiente podem andar lado a lado”;
- Certificação ISO 14001 para a Concessionária Ecovias dos Imigrantes S.A.
- Amplo reconhecimento da mídia, órgãos ambientais oficiais, entidades privadas e organizações não governamentais;



Coletor de resíduos



Foto: Figueiredo Ferraz

Quantitativos Principais

Estruturas em balanços sucessivos 2.238 MI

Estruturas em solução empurrada 996 MI

Estruturas em grelhas pré-moldadas 1.139 MI

Concreto super e meso estruturas 87.500 m³

Aço CA 50 9.900 Ton

Aço CP 190 RB 2.905 Ton

Tubulões e estacas 6.614 MI

Estacas tipo raiz 3.453 MI



Créditos do projeto

Equipe técnica

Adriano Gonsalves Macedo

Alberto Del Nero Millan

Aluizio Fontana Margarido

Ana Maria de Araujo Salles

Andrea de Almeida Cesar Kataqui

Antonio Claudio Franca

Antonio Fabio Troccoli

Carlos Augusto de Almeida

Carlos Augusto Campanha

Claudio Augusto Perpetuo

Daniel M. Carneiro

Darcy Celso Milena

Debora Prieto Moreira

Decio Goulart

Edson Antonio Massicano

Eli Kimura Vazzolla

Eliseu Soares

Flavio Massayuki Kawajima

Francisco Moreno Neto

Guilherme de Rezende Tamerick

Hitomi Seki Kimura

Jose Alves Ferreira Junior

Lucio Seiti Shibasaki

Jose Eduardo Simoes Pereira

Jose Carlos Oliveira Andrade Junior

Luiz Carlos Pinezi

Marcelo Massaki

Marcio Coelho Rocha

Maria Regina Micelli Fonseca

Mario Mori

Mauricio Chamma

Monica de Moraes Seixas

Oswaldo Souza Sampaio

Oswaldo Luiz Gonçalves

Patricia Lembo Roberti

Paulo Kosaburo Shiota

Paulo Sergio Carreira

Priscila da Mota Moraes

Roberto de Oliveira Alves

Roberto Romani

Rogério Tadao Noguti

Rosemeire Murakami Kataqui

Selma Olson Granata

Sergio de Gouvea Franco

Tetuo Niizu

Coordenação

Beatriz Belmonte

Mosze Gitelman



Avenida Rebouças, 1169 - Jardim Paulista, São Paulo, SP, 05401-150
São Paulo - SP | Tel (5511) 5085.5300 | Fax (5511) 5594.5756
www.figueiredoferraz.com.br