

DEPÓSITOS CENOZOICOS
NO PLANALTO
OCIDENTAL PAULISTA

FUNDAÇÃO EDITORA DA UNESP

Presidente do Conselho Curador

Mário Sérgio Vasconcelos

Diretor-Presidente / Publisher

Jézio Hernani Bomfim Gutierre

Superintendente Administrativo e Financeiro

William de Souza Agostinho

Conselho Editorial Acadêmico

Júlio Cesar Torres

Luís Antônio Francisco de Souza

Marcelo dos Santos Pereira

Maurício Funcia de Bonis

Patricia Porchat Pereira da Silva Knudsen

Ricardo D'Elia Matheus

Sílvia Maria Azevedo

Tatiana Noronha de Souza

Trajano Sardenberg

Editores-Adjuntos

Anderson Nobara

Leandro Rodrigues

JAYME DE OLIVEIRA CAMPOS

**DEPÓSITOS CENOZOICOS
NO PLANALTO
OCIDENTAL PAULISTA**

UMA ABORDAGEM DE
GEOLOGIA DE ENGENHARIA



editora
unesp

© 2025 Editora Unesp

Direitos de publicação reservados à:

Fundação Editora da Unesp (FEU)

Praça da Sé, 108

01001-900 – São Paulo – SP

Tel.: (0xx11) 3242-7171

Fax: (0xx11) 3242-7172

www.editoraunesp.com.br

www.livrariaunesp.com.br

atendimento.editora@unesp.br

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

Elaborado por Odílio Hilario Moreira Junior – CRB-8/9949

C198d Campos, Jayme de Oliveira

Depósitos cenozoicos no Planalto Ocidental Paulista: uma abordagem de geologia de engenharia / Jayme de Oliveira Campos. – São Paulo: Editora Unesp, 2025.

Inclui bibliografia.

ISBN: 978-65-5711-255-7

1. Geologia. 2. Depósitos cenozoicos. 3. Paleontologia. 4. Morfologia. 5. Pedologia. 6. Paleogeologia. 7. Ciências da terra. 8. Geologia histórica. I. Título.

2025-2389

CDD 551.072

CDU 551.1

Editora afiliada:



Asociación de Editoriales Universitarias
de América Latina y el Caribe



Associação Brasileira de
Editoras Universitárias

SUMÁRIO

Prefácio, <i>Paulo M. Barbosa Landim</i>	11
Introdução	15
Capítulo 1 – O planalto ocidental paulista	19
Quadro estratigráfico simplificado	23
Capítulo 2 – Solos	49
Solos	49
O intemperismo	58
As classificações, as nomenclaturas e os comportamentos dos diferentes tipos de solos	63
Reconhecimento das características geotécnicas	80
Ocorrências mundiais dos principais tipos de solos	82
Solos lateríticos, ferralíticos e ferruginosos	84
Tipos de solos lateríticos	107
Particularidades dos solos originados em ambiente tropical	109
O significado da pedogênese na engenharia de solos lateríticos	116
Implicações do comportamento particular dos depósitos cenozoicos no estado natural, em engenharia civil	119
Capítulo 3 – Trabalhos de campo e de laboratório	141
Trabalhos de campo e de laboratório	141
Amostragem	144
Ensaio de laboratório	154
Apresentação dos dados e análise dos resultados dos ensaios realizados no Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT)	155

Apresentação dos dados e análise dos resultados: ensaios realizados no Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC)	172
Capítulo 4 – Estabilização dos solos	181
A estabilização química	184
O tratamento de solos com a cal – pressupostos para o tratamento	187
Concepção e realização do ensaio rápido de pequenas dimensões para tratamento de solos	199
Ensaio de erodibilidade	208
Ensaio de compressão uniaxial	214
Conclusões e recomendações	227
Aprimoramento da conceituação de formações superficiais ou coberturas cenozoicas	229
Geotecnia	230
Referências bibliográficas	233

In memoriam

Eng. Milton Vargas
Geólogo Lorenz Döbereiner
Eng. Paulo Teixeira da Cruz
Geólogo Paulo M. Barbosa Landim

AGRADECIMENTOS

À Providência, que me possibilitou discernir o Quê, o Por Quê e o Quando.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (Unesp), abrigo da minha carreira acadêmica e edição deste trabalho.

Ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE), Departamento de Geologia Aplicada da Unesp, câmpus de Rio Claro, onde se materializou o Projeto de Pesquisas.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Brasil (CNPq); à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp); e à Fundação para o Desenvolvimento da Unesp (Fundunesp), que proporcionaram os meios materiais para a pesquisa.

Ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT), nas pessoas do eng. Cláudio Michael Wolle, eng. Scandar Gasperazzo Ignatius e eng. Sussumu Niyama, na época respectivamente coordenador, engenheiro e engenheiro chefe do Agrupamento de Mecânica dos Solos e Fundações, onde se desenvolveu a fase brasileira desta pesquisa.

Ao Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC), em Paris, França, onde foi realizada a fase francesa da pesquisa.

Ao dr. André Le Roux, do Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, orientador da pesquisa, pela competência e experiência.

Ao dr. Paulo Teixeira da Cruz, pelas sugestões oportunas e convenientes.

Ao prof. dr. Paulo Milton Barbosa Landim, da Unesp, câmpus de Rio Claro, pela compreensão e pelo suporte ao projeto de pesquisa.

A Mauro Gregorin, desenhista.

A todos os que de uma forma ou de outra colaboraram para os bons propósitos do projeto, mesmo aqueles que não conhecemos, mas presentes na revisão bibliográfica e na parte gráfica.

À família, pelo incentivo e pelo amparo.

PREFÁCIO

Este texto tem como enfoque principal o estudo, em seus múltiplos aspectos, dos depósitos cenozoicos no Planalto Ocidental Paulista e sua importância para a geologia de engenharia. Foi escrito por um geólogo com uma larga experiência em sua vida profissional nesse campo de atuação e ao mesmo tempo um professor extremamente preocupado em transmitir conceitos da maneira mais didática e simples possível e que possam ser úteis na análise e consequente interpretação geotécnica de fatos geológicos.

O autor, bacharel em Geologia pela Universidade de São Paulo (USP) em 1963, é doutor em Geologia Geral e de Aplicação pela Universidade de São Paulo (1981) e livre-docente em Geotecnia pela Universidade Estadual Paulista (Unesp), câmpus de Rio Claro (1989). Foi professor de Geotecnia no Curso de Graduação da Unesp, câmpus de Rio Claro (1976-1994), além de orientador nos programas de pós-graduação do Curso de Geotecnia da USP de São Carlos (1982-1997), de Geociências e Geotecnia da Unesp, câmpus de Rio Claro (1985-2001), de Geografia (2002-2007) desse mesmo câmpus e em Engenharia Civil na Universidade Federal de Viçosa (1993-1994). Realizou estágio de pós-doutorado sobre solos tropicais brasileiros no Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC), em Paris, França (1990), e especializações sobre liofilização de solos cenozoicos brasileiros no LCPC (1993), e géis produzidos nas reações álcali-agregados na Universidade Paris-Sud (1994). Realizou estágio de especialização em Gestão de Resíduos Industriais nas empresas CerChimie, em Nanterre, e Sarp Industries, em Limay, França (1998).

Participou da comissão editorial da revista *Geotecnia*, da Sociedade Portuguesa de Geotecnia (1974-2014). Foi presidente da Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (ABGE) (1991-1993),

diretor-presidente da Empresa Municipal de Desenvolvimento da Prefeitura de Rio Claro (Emderc) (1996-1999), secretário municipal de Planejamento, Desenvolvimento e Meio Ambiente (Sepladema) da Prefeitura Municipal de Rio Claro (2005-2008), administrando a operação do aterro sanitário do município, sendo gerente dos projetos do Plano Diretor de Rio Claro, e do Sistema de Informações Municipais, além de coordenar o Protocolo Município Verde da Secretaria de Estado de Meio Ambiente de São Paulo (SMA), tendo coordenado a elaboração do Plano Diretor de Rio Claro que originou a Lei Municipal n.3.806 de 28 de dezembro de 2007. Foi professor adjunto/colaborador na Secretaria Municipal de Ciência, Tecnologia e Desenvolvimento Econômico da Prefeitura Municipal de São Carlos, quando coordenou o Projeto Cátedras de São Carlos – Resíduos Sólidos: Inventário e Plano de Manejo para a Cidade de São Carlos. Tem experiência na área de Geologia Aplicada à Engenharia, atuando principalmente nos seguintes temas: Projetos e Construções de Barragens, Túneis, Canais, Estradas e Taludes, em empresas como Eletrobras, Cherp, Cesp, Comasp, Sabesp, IPT e Themag Engenharia. Dedicou-se ao estudo das rochas brandas, tendo sido coordenador do Primeiro Relato do Comitê de Estudos Geotécnicos de Rochas Sedimentares da ABGE (1988) e apresentou trabalhos sobre o tema em congressos internacionais em Beijing, China, em 2014; Goiânia, Brasil, em 2014, e Cartagena, Colômbia, em 2016. Na área ambiental, atuou como assessor do Consórcio Intermunicipal das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá, quando colaborou, em comissões técnicas mistas Brasil-França, de iniciativas para a Gestão de Bacias Hidrográficas e Gestão de Resíduos na área de atuação do consórcio, através de colaboração com a Agência Francesa de Meio Ambiente e do Domínio da Energia (Ademe), e da Agência de Bacia Sena-Normandia (1992-1998).

O livro tem início com uma introdução sobre a estratigrafia da área estudada, ao relacionar as diversas unidades sobre as quais estão sobrepostos os depósitos cenozoicos. A seguir são apresentados conceitos básicos sobre solos com destaque para os fundamentos teóricos das características e comportamento de tais materiais do ponto de vista geotécnico. Em sequência, o autor mostra todo o seu domínio sobre o estudo de rochas brandas e sua aplicação em geologia de engenharia ao discorrer, como um “estudo de caso”, sobre os dados obtidos no Planalto Ocidental Paulista e como analisá-los. Como conclusão, é ressaltado, no trabalho, que fica evidente

a importância da colaboração entre a geologia, a pedologia e a geotecnia, com a ressalva, porém, que nas classificações de solos em geotécnica, em pedologia e em mecânica dos solos, a abordagem metodológica dos estudos e trabalhos não seguem exatamente os mesmos padrões. Isto, porém, não deve significar um problema, mas sim uma oportunidade para um aprofundamento de colaboração entre essas áreas citadas. Baseado nisso, finalmente são apresentadas recomendações para futuros estudos sobre o tema com a preocupação de ressaltar a necessidade de que se aprimore o conhecimento das coberturas cenozoicas, em nosso país, no que se refere aos processos geológicos, geomorfológicos, sedimentológicos e pedológicos, com consequente caracterização geotécnica desses diferentes materiais de cobertura. O teor e a pertinência dessas conclusões e recomendações revelam o grande mérito desta obra e a sua importância.

Paulo M. Barbosa Landim

Professor emérito da Universidade Estadual Paulista (Unesp)

INTRODUÇÃO

Vastas ocorrências de um solo arenoso pouco argiloso de cor vermelho-amarelada marcante, sob uma vegetação rasteira castigada pelo sol do Planalto Ocidental Paulista, apresentavam-se para os que trabalhavam na construção das barragens do rio Tietê, no estado de São Paulo, nos anos de 1960 e 1970. Esse material, consagrado pela qualidade e pela quantidade – reveladas pelas sondagens e ensaios de laboratório –, constituía as chamadas “áreas de empréstimo” no jargão dos especialistas em barragens de terra, seria usado para a construção delas, e a sua presença se agregou de forma perene à memória daqueles que por lá estiveram e trabalharam. Esse solo arenoso pouco argiloso, vermelho-amarelado, veio a ser tema para avanço das pesquisas concernentes aos solos, pelo potencial técnico e científico que agrega.

Nos trópicos, mantos de saprólitos são geralmente cobertos por sedimentos transportados, originados por movimentos vários, como corridas de lama, escorregamentos ou atividades eólica ou fluvial, particularmente onde há rápida infiltração favorecida pelo acúmulo de materiais grosseiros. Esses depósitos podem estender-se por 1 ou 2 km das bases dos piemontes, acumulando-se sobre as rochas alteradas, com espessuras de mais de 10 m. Em sua base, pode haver linhas de seixos, usualmente de quartzo, com espessuras de até 2 m, cuja origem controvertida é atribuída à ação das térmitas, ou à formação de um revestimento de cascalho, quando componentes finos são removidos para baixo, por fortes lavagens. Em regiões semiáridas, esses revestimentos podem ocorrer na superfície; nas regiões úmidas, o soterramento deles por coluviões finos pode indicar uma mudança climática. As feições diagnósticas desses horizontes incluem:

- ausência de estruturas;
- seleção granulométrica pelo transporte;
- fraca estratificação;
- diminuição da granulometria talude abaixo;
- ausência ou fraco desenvolvimento de estruturas de solo;
- em direção à superfície, presença de material originado de rochas diferentes do material acumulado.

O contato com o solo residual subjacente é comumente marcado, além da linha de seixos, por mudanças na distribuição de partículas, de cores ou de composição química. Solos soterrados no meio dos depósitos indicam frequentemente dois ou mais episódios de deposição, com períodos intercalados de estabilidade, resultantes possivelmente de alterações climáticas no Quaternário.

Os solos citados identificam-se, no interior do estado de São Paulo, como importantes depósitos sedimentares cenozoicos, cuja evolução se realiza em ambiente tropical por processos colúviais, ou pela alteração de rochas arenosas ou basálticas. Podem ter 10 m ou mais de espessura e apresentam grande importância em engenharia civil, pois são utilizados na construção de aterros, na base de rodovias ou mesmo como fundações de estruturas. A história de tensões, às quais foram submetidos durante sua evolução, não tem grande influência no seu comportamento geotécnico, comparativamente à sua estrutura atual, produto da evolução por intemperismo químico. Tais solos apresentam uma microestrutura instável característica, ou seja, suas partículas são ligadas por um fraco cimento ferruginoso. Essa estrutura, chamada “em grumos”, à qual correspondem altos valores da porosidade e do volume de vazios, desfaz-se por saturação e carregamento (Cruz, 1987; Cruz; Marinho, 1995).

As rochas que são fontes de tais solos têm composição tal que originam depósitos desde muito arenosos até muito argilosos. As características do clima – subtropical, quente e úmido – favorecem os processos de alteração ferralítica, principalmente através da hidrólise de minerais do substrato, com liberação de sílica e bases, e concentração de sesquióxidos de ferro e alumínio. Tais processos permitem a formação de perfis com características de latossolos, podzólicos e terra roxa estruturada. Em termos gerais, predominam solos desenvolvidos do ponto de vista pedológico, caracterizados por horizontes

superiores com alterações pronunciadas dos minerais originais. Trata-se de solos com horizonte B latossólico e B textural, representados pelas classes pedológicas: latossolo vermelho-escuro texturas média e argilosa; latossolo roxo; terra roxa estruturada; e podzólico vermelho-amarelo textura arenosa média abrupto e não abrupto. Esses materiais podem ser classificados como ferrisóis ou solos ferruginosos quando derivados de rochas arenosas; e como solos fersialíticos quando provindos de rochas básicas.

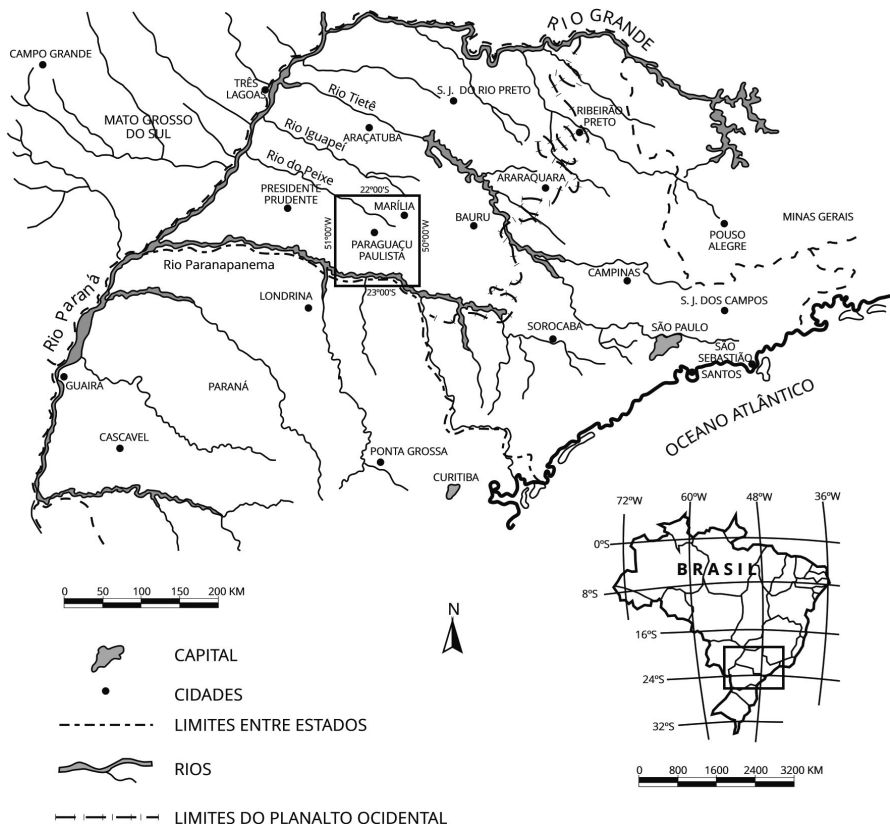
Os depósitos cenozoicos citados estão localizados em áreas com protagonismo de um crescimento econômico notável, portanto merecem especial atenção quanto ao conhecimento de suas particularidades e comportamentos ligados à gênese, com influência determinante em obras de engenharia implantadas na região (Campos, 1993).

CAPÍTULO 1

O PLANALTO OCIDENTAL PAULISTA

Situa-se entre os paralelos de 22° e $22^{\circ}30'$ e os meridianos de $50^{\circ}30'$ e 51° , com uma área aproximada de 300 km^2 (Figura 1), em área de 50% do estado de São Paulo.

Figura 1: Mapa esquemático da região estudada (Campos, 1990, modificado)



O índice pluviométrico no Planalto Ocidental é de 1.250 mm/ano, com variação média mensal de 30 mm a 240 mm, concentrando-se as chuvas nos meses de verão. Entre junho e setembro chove apenas 15% do total anual, época em que os solos se tornam deficitários em água e os rios têm os níveis mais baixos.

De acordo com a classificação climática internacional de Köppen, ocorrem na região duas subdivisões: o clima Cwa, temperado brando com inverno seco e verão quente e chuvoso; e Cfa, temperado brando, sem estação seca e com verão quente.

A temperatura média anual situa-se em torno de 22 °C, e a do mês mais frio (julho) entre 17 °C e 18 °C. A evapotranspiração potencial anual apresenta valores próximos a 1.000 mm.

Quanto à vegetação, a região foi coberta pela Mata Tropical Pluvial, sendo o vale do Paranapanema o divisor climático entre esta e os campos cerrados de São Paulo. Com o desmatamento ocorrido para o cultivo do café e outras culturas, a zona de clima seco no inverno transpôs seu limite natural.

Na mesorregião do Sudoeste Paulista, localiza-se a zona hidrográfica denominada Baixo Paranapanema. É uma bacia com 18.900 km² de extensão, desenvolvida no Planalto Ocidental, sendo o rio Paranapanema divisor entre a região sudoeste do estado de São Paulo e a região norte do estado do Paraná. O Planalto Ocidental é ocupado por relevos monótonos de colinas e morrotes, dentre os quais se destacam as regiões acidentadas de Marília-Garça-Echaporã, Monte Alto e Catanduva. A primeira dessas regiões tem sido a mais estudada do Planalto Ocidental, do ponto de vista geomorfológico, província que é, no seu conjunto, ainda mal conhecida. Segundo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT, 1981), deve-se considerar que, apesar de sua aparente simplicidade, o Planalto Ocidental é muito pouco estudado, não sendo improváveis novas alterações de seus limites a partir de estudos regionais mais completos (Figura 2). O relevo dessa província mostra forte imposição estrutural, sob o controle de camadas sub-horizontais, com leve caimento para oeste, formando uma extensa plataforma estrutural extremamente suavizada, nivelada em cotas próximas a 500 m, atingindo, na foz do Paranapanema, 247 m de altitude (Figura 3).

Em meio a esse relevo suave, destacam-se platôs residuais, sustentados por rochas areníticas do Grupo Bauru com forte cimentação carbonatada (Fúlfaro; Perinotto, 1996). Esses platôs são formas acentuadamente