

HENRIQUE AJUZ HOLZMANN
JOÃO DALLAMUTA
(Organizadores)

ENGENHARIAS:

Criação e repasse de tecnologias



Atena
Editora
Ano 2022

HENRIQUE AJUZ HOLZMANN
JOÃO DALLAMUTA
(Organizadores)

ENGENHARIAS:

Criação e repasse de tecnologias



Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Gabriel Motomu Teshima

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-Não-Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



Engenharias: criação e repasse de tecnologias

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Mariane Aparecida Freitas
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizadores: Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharias: criação e repasse de tecnologias /
Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, João
Dallamuta. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-0039-4

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.394222803>

1. Engenharia. I. Holzmann, Henrique Ajuz
(Organizador). II. Dallamuta, João (Organizador). III. Título.

CDD 620

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br



Atena
Editora
Ano 2022

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



APRESENTAÇÃO

Na sociedade atual, onde cada vez mais se necessita de informações rápidas e eficientes, o repasse de tecnologias é uma das formas mais eficazes de se obter novas tendências mundiais. Neste cenário destaca-se as engenharias, as quais são um dos principais pilares para o setor empresarial. Analisar os campos de atuação, bem como pontos de inserção e melhoria dessa área é de grande importância, buscando desenvolver novos métodos e ferramentas para melhoria contínua de processos.

Estudar temas relacionados a engenharia é de grande importância, pois desta maneira pode-se aprimorar os conceitos e aplicar os mesmos de maneira mais eficaz. O aumento no interesse se dá principalmente pela escassez de matérias primas, a necessidade de novos materiais que possuam melhores características físicas e químicas e a necessidade de reaproveitamento dos resíduos em geral. Além disso a busca pela otimização no desenvolvimento de projetos, leva cada vez mais a simulação de processos, buscando uma redução de custos e de tempo.

Neste livro são apresentados trabalho teóricos e práticos, relacionados a área de engenharia, dando um panorama dos assuntos em pesquisa atualmente. De abordagem objetiva, a obra se mostra de grande relevância para graduandos, alunos de pós-graduação, docentes e profissionais, apresentando temáticas e metodologias diversificadas, em situações reais. Sendo hoje que utilizar dos conhecimentos científicos de uma maneira eficaz e eficiente é um dos desafios dos novos engenheiros.

Boa leitura.

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

ESTUDO DE NOVAS TÉCNICAS CONSTRUTIVAS PARA AS HABITAÇÕES RIBEIRINHAS NO MUNICÍPIO DE AQUIDAUANA – MS

Vitória Barros de Souza

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3942228031>

CAPÍTULO 2..... 7

ANÁLISE DA IMPLANTAÇÃO DE TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS DE INFILTRAÇÃO ASSOCIADAS AO SISTEMA CONVENCIONAL DE DRENAGEM DE ÁGUA PLUVIAL EM UM LOTEAMENTO DA CIDADE DE CATALÃO-GO

Eliane Aparecida Justino

Everton Vieira de Carvalho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3942228032>

CAPÍTULO 3..... 22


ANÁLISE ESTRUTURAL EM FUNDAÇÕES SUPERFICIAIS CONSIDERANDO A INTERAÇÃO SOLO-ESTRUTURA PELO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

Davidson de Oliveira França Júnior

Michele Martins Arruda

Jéssica Ferreira Borges

Paola Mundim de Souza

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3942228033>

CAPÍTULO 4..... 41

ONDE O EDIFÍCIO E A CIDADE SE ENCONTRAM: CONEXÕES NA ORLA DE MACEIÓ-AL

Morgana Maria Pitta Duarte Cavalcante

Matheus Santana Correia

Luanne de Andrade Brandão

Sarah Pace


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3942228034>

CAPÍTULO 5..... 55

GESTÃO DE OBRAS RESIDENCIAIS EM CONDOMÍNIO DE CASAS: ESTUDO DE CASO

Maria Aridenise Macena Fontenelle

Érica Karine Filgueira Costa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3942228035>

CAPÍTULO 6..... 63

AVALIAÇÃO DA PERCEPÇÃO DA SENSÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO EM AMBIENTE EXTERNO UNIVERSITÁRIO

Betty Clara Barraza de La Cruz

Lilian dos Santos Fontes Pereira Bracarense

Fernanda Martins Milhomem


Isabela Maciel Macedo
Laís Carolina dos Santos Mota
Eduardo Castro Pereira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3942228036>

CAPÍTULO 7..... 76

AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DO CICLO DE VIDA DOS MATERIAIS DE UM PAINEL PRÉ-MOLDADO


Aline Islia Almeida de Sousa
Adeildo Cabral da Silva
João Paulo Sousa Costa de Miranda Guedes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3942228037>

CAPÍTULO 8..... 92

ESTUDO COMPARATIVO DE METODOLOGIAS PARA A DETERMINAÇÃO DE ²²⁶Ra E ²²⁸Ra EM AMOSTRAS SÓLIDAS AMBIENTAIS

Aluísio de Souza Reis Júnior
Geraldo Frederico Kastner
Renata Dias Abreu Chaves
Roberto Pellacani Guedes Monteiro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3942228038>

CAPÍTULO 9..... 99

ANÁLISE POR ATIVAÇÃO NEUTRÔNICA, MÉTODO K₀, NA DETERMINAÇÃO DE ELEMENTOS QUÍMICOS EM GRÃOS DE MILHO

Wellington Ferrari da Silva
Renata Priscila de Oliveira Paula
Dayse Menezes Dayrell

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3942228039>

CAPÍTULO 10..... 108

DATA SCIENCE PARA MULTI-PREVISÃO: APLICADO A PROTEÇÃO DE FURTO DO TRANSPORTE DUTOVIÁRIO DE PETRÓLEO E DERIVADOS

Renivan Costa da Silva


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39422280310>

CAPÍTULO 11 126

DYNAMIC FUZZY COGNITIVE MAPS DEVELOPMENT TECHNIQUE INSPIRED IN ANT COLONY OPTIMIZATIONS, SWARM ROBOTICS, AND SUBSUNCTION ARCHITECTURE

Márcio Mendonça
Marta Rúbia Pereira dos Santos
Fábio Rodrigo Milanez
Wagner Fontes Godoy
Marco Antônio Ferreira Finocchio
Carlos Renato Alves de Oliveira
Mario Suzuki Junior
Ricardo Breganon


Francisco de Assis Scannavino Junior
Lucas Botoni de Souza
Michele Eliza Casagrande Rocha
Vicente de Lima Góngora

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39422280311>

CAPÍTULO 12..... 140

PROPOSTA DE AUTOMAÇÃO DISTRIBUÍDA DE UM BANCO DE TRANSFORMADORES REGULADORES USANDO A NORMA IEC 61499


Marcos Fonseca Mendes
Bruna Pletikoszits Andrade Parcianello

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39422280312>

CAPÍTULO 13..... 155

ANTENA DE MICROFITA COM *PATCH* EM ESPIRAL DE ARQUIMEDES *DUAL-BAND* EM 2,45 GHZ E 5,8 GHZ


Rafael Alex Vieira do Vale
Idalmir de Souza Queiroz Júnior
Humberto Dionísio de Andrade

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39422280313>

CAPÍTULO 14..... 167

REDUÇÃO DE CAPEX E OPEX COM A GESTÃO INTEGRADA DO INVENTÁRIO DE TELECOMUNICAÇÕES


Eduardo Camargo Langrafe
Cristiano Henrique Ferraz
Eduardo Vasconcelos Lopes Ferreira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39422280314>

CAPÍTULO 15..... 179

APLICAÇÃO DE ÁRVORES DE DECISÃO EM UM BANDO DE DADOS PARA LOCALIZAÇÃO DE FALTAS EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA COM MEDIDORES INTELIGENTES

Marcel Ayres de Araújo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39422280315>

CAPÍTULO 16..... 195

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO USO DE LÂMPADAS UV-C EM SERPENTINAS DE RESFRIAMENTO

Andressa Paes Pereira
Alexandre Fernandes Santos
Ariel Dov Ber Gandelman
Eliandro Barbosa de Aguiar
Heraldo José Lopes de Souza


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39422280316>

CAPÍTULO 17.....203

KILOMETRAJE RECORRIDO, DESGASTE DE RUEDAS Y FRENOS EN BOGÍES DE TRANSMISIÓN Y REMOLQUE EN TRENES ELÉCTRICOS

Gustavo David Valera Mendoza

Gianni Michael Zelada García

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39422280317>

CAPÍTULO 18.....219

NOVAS METODOLOGIAS PARA AVALIAÇÕES ACÚSTICAS – INFRASSONS E RUÍDO DE BAIXA FREQUÊNCIA


Huub H.C. Bakker

Mariana Alves-Pereira

Richard Mann

Rachel Summers

Philip Dickinson

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39422280318>


CAPÍTULO 19.....234

PROPAGAÇÃO DE ONDAS EM UM CRISTAL FONÔNICO COM DEFEITOS

Hélio Vitor Cantanhede da Silva

Hudson Douglas Silva Morais

Edson Jansen Pedrosa de Miranda Júnior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39422280319>

CAPÍTULO 20.....242

OBTENÇÃO DE VARIÁVEIS TÉRMICAS DE SOLIDIFICAÇÃO E ANÁLISE DE MICROESTRUTURA DA LIGA DE ALPACA 2 C/ Pb

Márcio Valério Rodrigues de Mattos

Rogério Teram


Maurício Silva Nascimento

Vinicius Torres dos Santos

Marcio Rodrigues da Silva

Antonio Augusto Couto

Givanildo Alves dos Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39422280320>

CAPÍTULO 21.....256


SÍNTESE DE FILMES DE ÓXIDO DE ZINCO DOPADOS COM NANOPARTÍCULAS DE PRATA APLICADOS EM SENSORES DE GÁS



Luana Martins de Carvalho

César Renato Foschini

Kléper Rocha

Carlos Eduardo Cava

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39422280321>

CAPÍTULO 22.....	270
THERMAL ANNEALING EFFECTS ON SOL-GEL SYNTHESIZED Cu_2O NANOPARTICLES	
Angela Alidia Bernal Cárdenas	
José Pedro Mansueto Serbena	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.39422280322	
CAPÍTULO 23.....	276
GESTÃO ESTRATÉGICA DAS TECNOLOGIAS COGNITIVAS: UMA PESQUISA EXPLORATÓRIA NA ÁREA DA SAÚDE	
Gerson Tolentino Galvão Leite Andrade	
Getúlio Kazue Akabane	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.39422280323	
CAPÍTULO 24.....	301
CARACTERIZAÇÃO DO DESIGN COMO FACILITADOR DA INOVAÇÃO RADICAL	
Ruth Matovelle Villamar	
Manuel Lecuona Lopez	
Adriana Gonzalez Hernández	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.39422280324	
CAPÍTULO 25.....	314
BANDEIRA TÊXTIL DA TECIDOTECA: ANÁLISE POR DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO E ALONGAMENTO DO TECIDO JEANSWEAR	
Ronaldo Salvador Vasques	
Fabrício de Souza Fortunato	
Márcia Regina Paiva de Brito	
Natani Aparecida do Bem	
Elaine Regina Brito Maia	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.39422280325	
SOBRE OS ORGANIZADORES	326
ÍNDICE REMISSIVO.....	327

ANÁLISE ESTRUTURAL EM FUNDAÇÕES SUPERFICIAIS CONSIDERANDO A INTERAÇÃO SOLO-ESTRUTURA PELO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

Data de aceite: 01/03/2022

Data de submissão: 11/01/2022

Davidson de Oliveira França Júnior

Departamento de Engenharia Civil,
Universidade UNA de Catalão – *Campus* Santa
Cruz
Catalão – GO
<https://orcid.org/0000-0001-8822-7178>

Michele Martins Arruda

Departamento de Engenharia Civil,
Universidade UNA de Catalão – *Campus* Santa
Cruz
Catalão – GO
<https://orcid.org/0000-0002-2093-6231>

Jéssica Ferreira Borges

Departamento de Engenharia Civil,
Universidade UNA de Catalão – *Campus* Santa
Cruz
Catalão – GO
<https://orcid.org/0000-0002-1535-1992>

Paola Mundim de Souza

Departamento de Engenharia Civil,
Universidade UNA de Catalão – *Campus* Santa
Cruz
Catalão – GO
<http://lattes.cnpq.br/5086463345621623>

RESUMO: O presente trabalho traz análises de simulações estruturais de uma fundação rasa e direta, do tipo sapata, desacoplada e acoplada com solo, através do método dos elementos finitos (MEF) por meio do *software* ANSYS. A

interação solo-estrutura (ISE) é feita através da discretização do solo por um meio contínuo. Além disso, no efeito acoplado solo-estrutura foram incluídas nas modelagens diferentes camadas e tipos de rigidez de solos, impondo uma heterogeneidade (não linearidade física) e geométrica no sistema. Os resultados foram investigados em termos de análises globais, bem como de deslocamentos e tensões no conjunto solo-estrutura, a fim de fornecer uma melhor visualização dos bulbos de tensões e no entendimento dos aspectos relacionados a modelagem do conjunto solo-estrutura.

PALAVRAS-CHAVE: Interação Solo-Estrutura, Sapata, Simulação Estrutural, Método dos Elementos Finitos.

STRUCTURAL ANALYSIS IN SHALLOW FOUNDATIONS CONSIDERING SOIL-STRUCTURE INTERACTION BY THE FINITE ELEMENT METHOD

ABSTRACT: The present work presents analysis of structural simulations of a shallow and direct foundation (pad footing), uncoupled and coupled with soil, through the finite element method (FEM) using ANSYS software. The soil-structure interaction (ISE) is done through soil discretization by a continuous environment. Furthermore, in the coupled soil-structure effect, different soil layers and types of soil stiffness were included in the modeling, imposing a heterogeneity (physical non-linearity) and geometric in the system. The results were investigated in terms of global analysis, as well as displacements and stresses in the soil-structure set, in order to provide a

better visualization of the stress fields and in the understanding of aspects related to the modeling of the soil-structure set.

KEYWORDS: Soil-Structure Interaction, Pad footing, Structural Simulation, Finite Element Method.

1 | INTRODUÇÃO

As fundações podem ser definidas como elementos estruturais cuja função é transmitir as cargas da estrutura para a camada do solo até atingir a resistência necessária. De acordo com a ABNT NBR 6122 (2019), as fundações podem ser classificadas quanto a profundidade da cota de apoio em rasas ou profundas, ou ainda, diretas e indiretas, que diferem entre si na forma como o solo recebe esta carga a ele transmitida.

Considerando que a fundação é um elemento que realiza a transição de cargas entre a estrutura e o solo, seu comportamento está diretamente ligado ao que acontece com o solo quando submetido a um carregamento. Assim, o conjunto estrutural entre fundação e solo reflete um problema de interação solo-estrutura (ISE), envolvendo uma complexidade particular na área da engenharia estrutural (MILITITSKY et al., 2015).

De acordo com Velloso e Lopes (2011), toda fundação sofre deslocamentos verticais (recalques), horizontais e rotações em função das cargas a que são submetidas. Esses deslocamentos são resultados de aspectos dependentes do solo, da estrutura da fundação e do efeito combinado da interação solo-estrutura.

A análise estrutural em estruturas de fundações pode ser feita basicamente através de métodos analíticos ou métodos numéricos. O método dos elementos finitos (MEF) é um método numérico usado para encontrar soluções aproximadas de problemas envolvendo fenômenos regidos por equações diferenciais e que satisfazem determinadas condições de contorno. Este método divide o domínio estrutural em finitas partes de elementos de solução conhecida e aproximada. No âmbito da Engenharia Estrutural, o MEF tem como objetivo determinar o comportamento estrutural (estado de tensão, deslocamentos, deformações, esforços etc.) de um sólido com geometria arbitrária submetido a ações exteriores (LOPES, 2003; SORIANO, 2009).

No caso de problemas de ISE a modelagem do conjunto acoplado solo-estrutura é mais complexa, pois o solo é um meio descontínuo e heterogêneo, que possui não linearidades físicas e geométricas. Além disso, o solo é um meio infinito que pode ser representado como meio finito nas modelagens através do MEF (SORIANO, 2009).

No decorrer dos anos alguns pesquisadores abordaram sobre a simulação estrutural com a ISE e ainda o fazem atualmente, tais como podemos mencionar os trabalhos de Vitoreti (2003) que realizou uma análise da interação solo-estrutura em fundações de concreto armado pelo método dos elementos finitos. Lopes (2003) que apresentou uma análise estática e dinâmica de problemas de interação solo-estrutura por meio do MEF.

Antoniuzzi (2011) e, posteriormente, Silva (2019) que estudaram a interação solo-estrutura aplicada em edifícios com fundações superficiais.

Uma vez que a temática citada envolve aspectos relacionados a ISE através do MEF, o presente trabalho teve como objetivo realizar simulações estruturais de uma fundação rasa e direta do tipo sapata, desacoplada e acoplada com solo, através do MEF por meio do *software* ANSYS. São incluídas nas análises diferentes camadas de solo com propriedades mecânicas distintas e com diferentes configurações geométricas, impondo assim uma não linearidade física e geométrica para analisar o desempenho do conjunto solo-estrutura, visto que é uma análise de alta complexidade e que impõe comportamentos particulares. Assim, os resultados foram investigados em termos de análises globais, bem como de deslocamentos e tensões no conjunto solo-estrutura, a fim de fornecer uma melhor visualização e entendimento dos aspectos relacionados a modelagem e aos efeitos estruturais em fundações superficiais.

2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Fundações superficiais do tipo sapatas

Toda obra de engenharia é constituída por duas partes: superestrutura que geralmente é composta por lajes, vigas e pilares, e a infraestrutura que é composta por elementos estruturais que são geralmente construídos abaixo do solo. A infraestrutura é responsável por transmitir todas as cargas e ações que atuam na edificação para o solo (VELLOSO E LOPES, 2011).

De acordo com a NBR 6122 (ABNT, 2019), a sapata é um elemento de fundação rasa de concreto armado, que é dimensionado para resistir tensões de compressão através do concreto e as tensões de tração através da armadura. As sapatas absorvem preponderantemente esforços de compressão e momentos fletores, transmitindo-os ao solo através do efeito da flexão, característica estrutural particular desse elemento (ALONSO, 2019).

Quanto ao aspecto estrutural das sapatas, a NBR 6118 (2014) afirma que elas podem ser rígidas ou flexíveis. As rígidas são menos deformáveis e menos sujeitas à ruptura por punção. As flexíveis têm altura “pequena” e são mais deformáveis. Segundo Bastos (2019), a tensão na interface na área da base de uma sapata é um dos fatores primordiais no projeto de sapatas e depende de diversos fatores, tais como: existência de excentricidade do carregamento aplicado, intensidade de possíveis momentos fletores aplicados, rigidez da fundação, propriedades do solo e rugosidade da base da fundação.

Do ponto de vista na interface solo-estrutura, a distribuição de tensões no solo aplicadas em uma sapata carregada concêntrica em função do tipo de solo e da rigidez da sapata (rígida ou flexível) é complexa e não linear (veja Figura 1), mas basicamente

pode-se dizer que em sapatas rígidas apoiadas sobre solos mais granulares (ex. areia) a pressão é maior no centro e diminui em direção às bordas da sapata. Em contrapartida, no caso de solos argilosos a pressão é maior nas proximidades das bordas e menor no centro. Em sapatas flexíveis a distribuição de tensões depende do nível de rigidez da sapata em relação ao solo. Assim, a rigidez do solo e da estrutura modifica a distribuição das tensões na ISE (BASTOS, 2019).

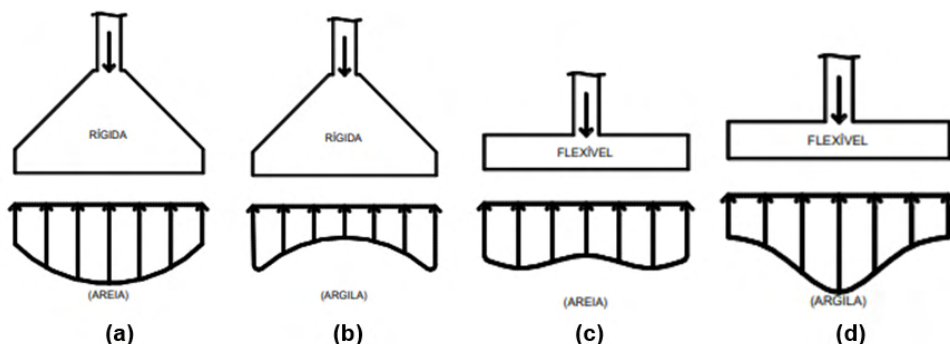


Figura 1 – Distribuição de pressão no solo em sapata sob carga centrada: (a) sapata rígida sobre areia; (b) sapata rígida sobre argila; (c) sapata flexível sobre areia; (d) sapata flexível sobre argila (Adaptada de Bastos, 2019).

Através da Figura 1 é possível observar que a distribuição de tensão (pressão) na base de uma sapata é complexa. Neste trabalho são abordadas situações a partir de sapatas sob diferentes tipos de solos (mais rígidos e menos rígidos).

2.2 Recalques nas fundações

Recalque é um termo da engenharia, definido por Cintra et al. (2011) como o deslocamento vertical para baixo ou rebaixamento da estrutura, devido ao adensamento ou acomodação do solo abaixo dela. De acordo com Milititsky et al. (2015), o recalque em fundações pode fazer com que a fundação afunde gravemente.

O recalque é chamado de total quando ocorre em todas as fundações, e recalque diferencial quando ocorre somente em alguns dos elementos de apoio ou quando ocorre com diferentes intensidades em cada um deles. Os três tipos de recalque mais comuns, no ponto de vista estrutural são: recalque uniforme, diferencial com distorção uniforme e diferencial com distorção angular (MILITITSKY, 2015).

Cintra et al. (2011) pontua que se o solo fosse homogêneo, as sapatas fossem com a mesma dimensão e as cargas aplicadas fossem iguais, os recalques seriam praticamente uniforme em todas as edificações, porém a variabilidade do solo gera recalques desiguais. Além disso, o tamanho das bases das sapatas em uma edificação, pode variar bastante, uma vez que as cargas nos pilares são diferentes, o que é uma causa adicional de recalque diferencial, uma vez que o solo é heterogêneo e pode mudar em um mesmo

terreno. Neste trabalho os recalques imediatos são investigados em conformidade com diferentes situações do solo para estrutura de sapata. Os imediatos são possíveis de serem avaliados sob ponto de vista estrutural, uma vez que o meio elástico discretizado fornece possibilidades para tal.

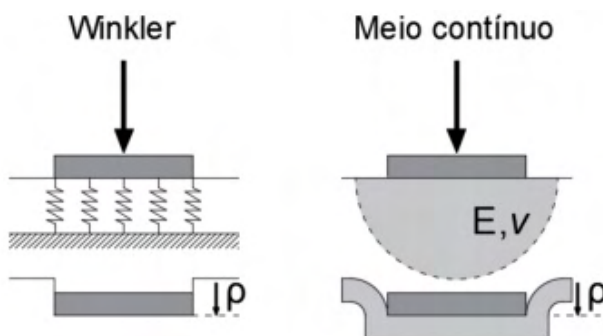
2.3 Modelagem da interação solo-estrutura (ISE)

Para Colares (2006), o termo interação solo-estrutura compreende um vasto campo de estudo que engloba todos os tipos de estrutura em contato com o solo. De uma forma geral, segundo Guerra e Sales (2011), um dos desafios nos projetos de estruturas e fundações, é a modelagem do comportamento de solo perante a estrutura. Ao considerar a interação entre o solo e a infraestrutura, é preciso observar o comportamento do solo ao receber a sobrecarga.

Antoniazzi (2011) afirma que, atualmente, a justificativa de não considerar a ISE nos projetos, está na hipótese de que as reações que surgem no apoio da estrutura provêm de base consideradas rígidas. Esta hipótese tem uma valia pois os esforços devem passar pela fundação antes de serem absorvidas pelo solo, ou seja, as infraestruturas são rígidas, com a garantia de que não haverá deslocamento na base dos pilares. Entretanto, na prática, quando o solo é submetido a uma carga derivada de uma edificação poderá sofrer um adensamento, e o comportamento é diferente do que foi idealizado no projeto.

A análise da ISE pode ser representada por meio de molas elásticas ou um meio elástico, ambos aplicados no contorno estrutura-solo, levando em consideração as propriedades mecânicas do maciço e a compatibilização dos recalques, ou ainda pela imposição de deslocamentos verticais estimados. No caso de edificações, alguns fatores podem influenciar na interação solo-estrutura, dos quais podemos citar o número de pavimentos da edificação, influência de rigidez dos primeiros pavimentos, o processo de construção da edificação, edificações vizinhas, rigidez relativa estrutura-solo, diversas cargas atuantes, entre outros (ANTONIAZZI, 2011).

Para representação do solo, Velloso e Lopes (2011) citam dois modelos principais, sendo eles o Método de Winkler e o Meio Contínuo (Figura 2).



Fonte: MENDES, 2016.

Em 1867, Winkler propôs um modelo onde admite-se que, as cargas aplicadas na superfície do solo geram deslocamentos somente no ponto de aplicação, ou seja, não é considerado o efeito da continuidade do meio. Com isso, foi sugerido que um sistema de molas com rigidez equivalentes substituísse o maciço do solo, surgindo o modelo de Winkler, um método simplificado para se considerar a interação solo-estrutura (MENDES, 2016). Em contrapartida, de acordo com Velloso e Lopes (2011) o meio contínuo pode ser elástico ou elastoplástico.

Cintra et al. (2011) citaram que no modelo de Winkler a análise pode ser realizada através da separação da fundação e da superestrutura, que tem como objeto a obtenção de uma estrutura final de equilíbrio mediante a conformidade entre os deslocamentos. No modelo contínuo pode ser realizada uma análise conjunta entre a superestrutura e a fundação, resultando em uma única estrutura, em que a estrutura de fundação interage com o maciço de solo. Por ambos os métodos, o objetivo é de obter os valores de esforços e de deslocamentos no conjunto solo-estrutura. Para analisar o meio contínuo, as soluções para a interação solo-estrutura podem ser encontradas através da teoria da elasticidade ou por meio de soluções numéricas, sendo o método dos elementos finitos adequado para tal.

A análise pelo MEF, basicamente consiste em dividir o modelo estrutural em diversas partes com dimensões menores, denominados elementos finitos, substituindo um problema complexo por diversos problemas simples, que podem ser resolvidos simultaneamente. Os elementos compartilham pontos em comum, que são denominados de nós, e processo de subdivisão dos modelos em pequenas partes é chamado de geração de malha de elementos finitos. Na discretização o contorno entre domínios, a forma geométrica e a conectividade entre os nós, são fatores primordiais para a discretização pelo método dos elementos finitos (SORIANO, 2009).

Os elementos finitos podem variar entre unidimensionais, bidimensionais e tridimensionais, variando a quantidade de pontos nodais. A escolha de cada tipo de elemento finito deve ser condizente com a geometria a ser simulada. As equações de cada elemento finito são chamadas de funções interpoladoras e, geralmente, são polinômios que assumem e representam um campo de deslocamentos para o elemento de forma aproximada. Ao integrar tais funções e montar sistemas na forma matricial para o domínio estrutural completo global tem-se a resposta de toda estrutura (COOK, 1995).

3 | METODOLOGIA

3.1 Etapas da pesquisa

Neste tópico é apontada a sequência da pesquisa utilizada neste trabalho, com as

etapas desenvolvidas e apresentadas no fluxograma da Figura 3:

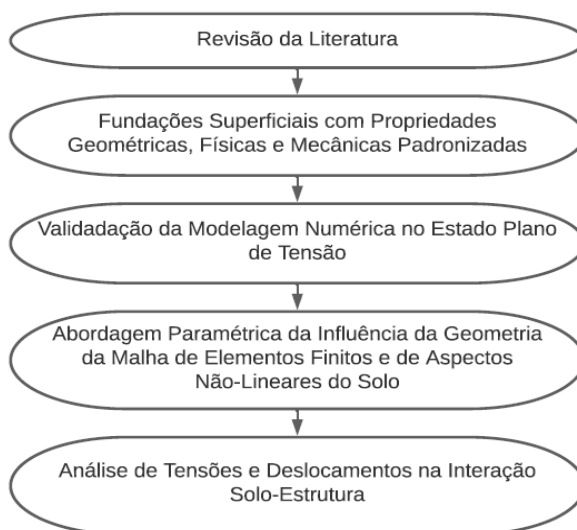


Figura 3 – Fluxograma com metodologia da pesquisa.

Conforme apresentado no fluxograma da Figura 3, a partir do entendimento da parte bibliográfica, foi realizado um estudo de caso de uma fundação superficial rasa e direta do tipo sapata, com características fixas de carregamentos e geometria. As propriedades físicas e mecânicas foram definidas de acordo com o item 8.2.8 da NBR 6118/2014, onde foi adotado o material concreto com agregado graúdo do tipo granito, de f_{ck} de 25 MPa e, conseqüentemente, o módulo de elasticidade de 24 GPa. A densidade do concreto armado foi considerada de 2500 Kg/m³ (NBR 6120:2019).

A partir da definição das características da estrutura de fundação, pôde-se realizar diversas modelagens numéricas através do software ANSYS e efetivar a validação dessas modelagens no que diz respeito a convergência de malha, em relação a formulação analítica de compatibilidade de deslocamento, de acordo com a teoria de Resistência dos Materiais (HIBELLER, 2010). Tal formulação é empregada para encontrar os deslocamentos em barras axiais e foi utilizada na validação do modelo numérico quando avaliado os deslocamentos no pilar conectado a sapata, sendo tal adoção explicada pelo fato do pilar estar submetido a um efeito de compressão e ser assumido como um modelo linear-elástico. Os deslocamentos aproximados no pilar são expressos por:

$$\Delta L = \frac{PL}{EA} \quad (1)$$

Onde ΔL é o deslocamento de encurtamento do pilar sob compressão simples, P é

a carga axial aplicada; L é o comprimento inicial; E é o módulo de elasticidade e A é a área da seção transversal.

Assim, ao assumir a fundação apoiada sob solo muito rígidos (não transladáveis) com elevados valores de módulo de elasticidade do solo, o problema converge para a solução analítica citada na região do pilar por uma barra sobre efeito axial e os deslocamentos coincidem com a solução analítica. Uma vez que as modelagens se mostraram satisfatórias para modelos rígidos os valores de rigidez do solo foram alterados na modelagem e a flexibilização foi incorporada na análise. Nesta fase, o efeito concomitante axial do pilar se soma ao efeito de flexão da sapata e ao deslocamento do maciço de solo, tornando a análise complexa e que puderam ser avaliadas numericamente.

Em relação aos aspectos do solo, neste trabalho foram abordados dois tipos de não-linearidade: física e geométrica. A não-linearidade física é imposta de forma aproximada pelo uso de módulos de elasticidade diferentes (solo heterogêneo) aplicados na malha de elementos finitos e, por fim, a não-linearidade geométrica é a alteração da geometria das camadas de solo de apoio.

Foram definidos os parâmetros para os tipos de solos conforme Bardet (1997), em que as propriedades mecânicas são aplicadas para um solo flexível, solo intermediário e um solo mais rígido conforme os valores de densidade (ρ), coeficientes de Poisson (ν) e modos de elasticidade (E) apresentados na tabela 1. Por fim, com as modelagens realizadas foram obtidos resultados de tensões e deslocamentos na interface da estrutura com o solo.

Descrição	E (MPa)	ν	ρ (Kg/m ³)
Solo Flexível	50	0,30	1800
Solo Intermediário	100	0,25	1800
Solo Rígido	150	0,20	1800
Estrutura da Sapata	24000	0,20	2500

Tabela 1 – Parâmetros adotados para os solos e a estrutura de fundação.

3.2 Casos estudados

Com base nos parâmetros apresentados anteriormente, os casos foram baseados em possíveis situações que podem ocorrer em projetos estruturais, apresentando situações simples de interação solo-estrutura com sapatas isoladas, mostrando diferentes discretizações dessas situações.

O caso 1 apresenta uma sapata isolada sem interação solo-estrutura. A sapata isolada tem a geometria padronizada para todos os casos, com base de 2,1 m e altura de 0,60 m, e apresenta um pilar de 0,40 m de largura e 1,5 m de altura. A sapata recebe uma carga axial no topo do pilar de valor igual a 1200 KN. Os casos 2, 3, 4 e 5 apresentam

a mesma sapata e carga aplicada, porém com o solo (flexível), além de discretizações diferentes no perfil das profundidades do solo, de modo que: caso 2 com profundidade de 1,2m; caso 3 com 2,4m; caso 4 com 4,8m e caso 5 com 9,6m. A Figura 4 apresenta os casos de 1 a 5 estudados.

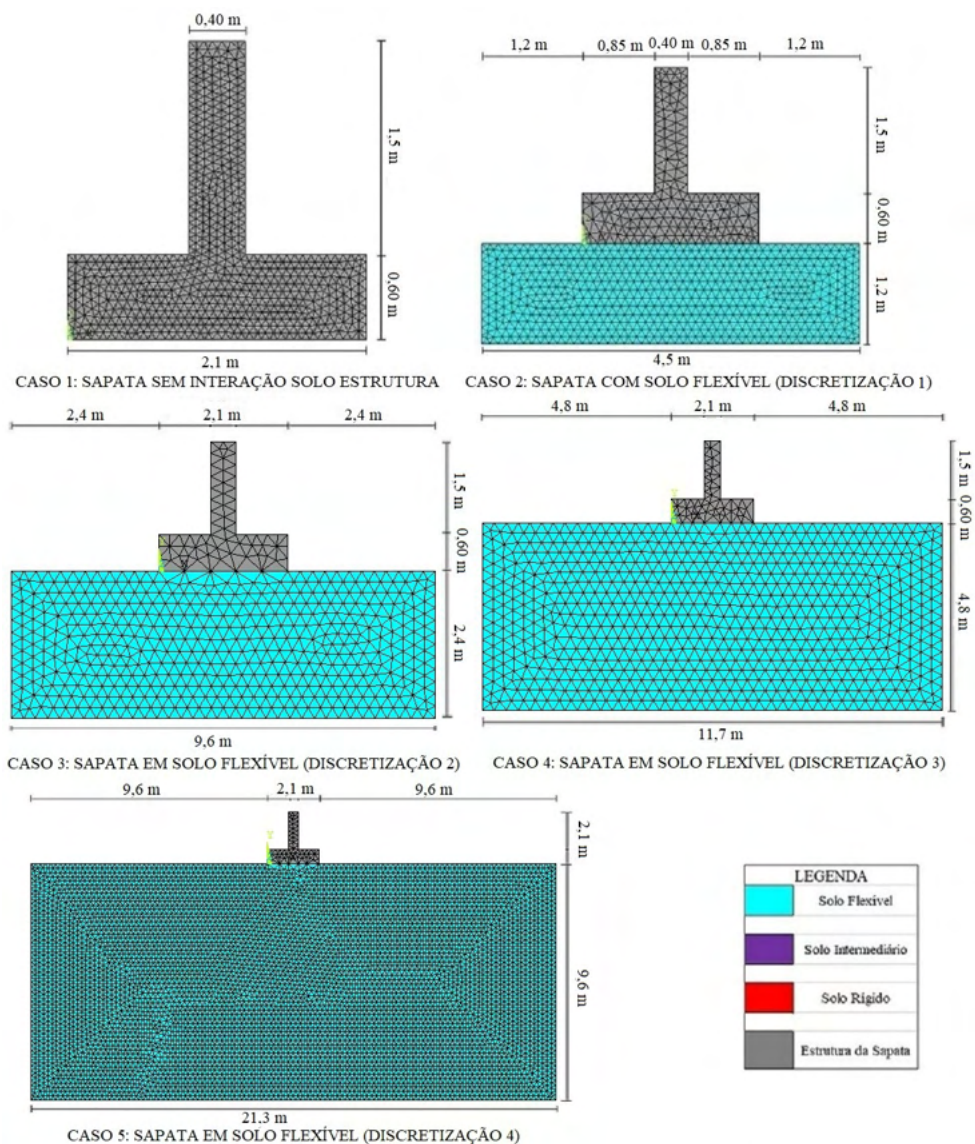


Figura 4 – Detalhes dos casos 1 a 5 discretizados a serem analisados neste trabalho.

A discretização 4 do solo apresentada no caso 5 foi escolhida como referência para os casos 6, 7 e 8, onde foi aplicada a mesma profundidade (9,6m) e carga (1200 KN),

porém com solos heterogêneos e com alterações na geometria das camadas. A Figura 5 apresenta os casos 6, 7 e 8 estudados.

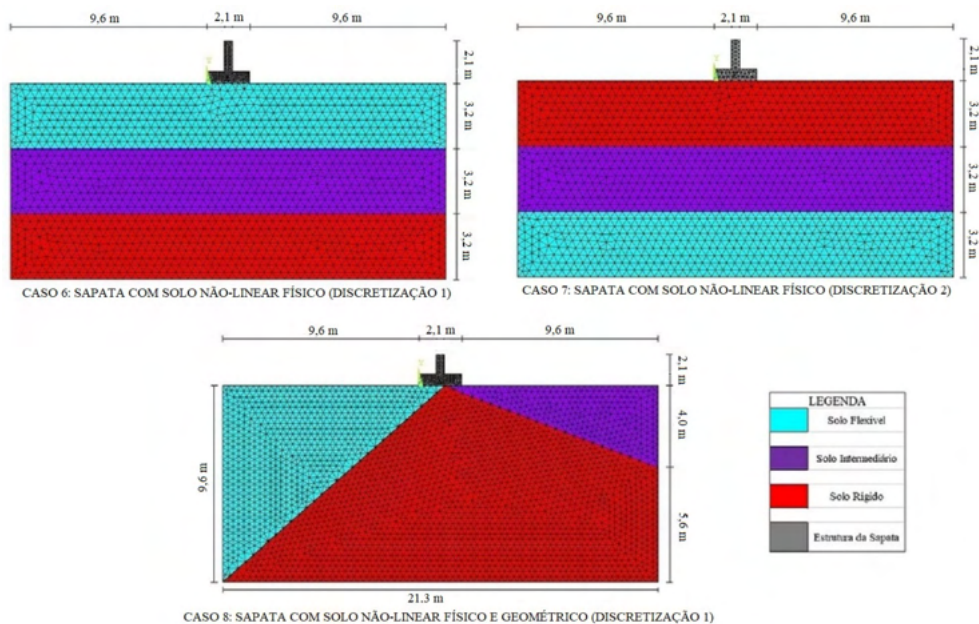


Figura 5 – Detalhes dos casos 6 ao 8 discretizados a serem analisados neste trabalho.

Vale ressaltar que, conforme recomendado em Soriano (2009), em todos os casos as condições de contorno nas modelagens foram de contato de compressão entre malha do solo e da estrutura, deslocamento vertical impedido (apoio 1º gênero em y) no limite da malha na parte inferior do solo e deslocamento horizontal impedido (apoio 1º gênero em x) nas duas laterais da malha do solo. O elemento finito utilizado foi o PLANE183 do ANSYS, que é elemento adequado para estado plano e os problemas estudados. Nenhuma tensão de tração deve ser admitida na discretização da malha do solo durante as investigações.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

São percorridos a seguir os resultados das análises, para os casos de 1 a 8. Em todos os casos apresentados, quando em solos assumidos como rígidos ou com o sistema de apoios fixos os deslocamentos do pilar foram validados com a solução analítica. Após a validação o solo foi assumido flexível e os resultados foram obtidos com situações mais complexas, ou seja, efeito de flexão tanto na base da sapata, quanto as tensões na base do solo.

4.1 Análise do caso 1 ao caso 5

Na análise dos casos, podemos afirmar que as tensões aplicadas foram condizentes com as tensões no pilar, assim como os deslocamentos (ΔL) da formulação citada anteriormente. O deslocamento (ΔL) de encurtamento máximo obtido no topo dos pilares foi de aproximadamente 0,238 mm tanto no modelo analítico quanto no modelo numérico e assim demonstram validados.

Por outro lado, quando incluída a flexibilidade do solo, nos resultados pode-se observar que, para o primeiro conjunto de casos (1 ao 5), os resultados de deslocamentos e tensões foram próximos, assim pode-se afirmar que a modelagem e a utilização das formulações foram empregadas de forma correta, validando as análises e a discretização da malha através do método dos elementos finitos. Abaixo na Figura 6 temos os diagramas de deslocamentos em y extraídos do *software*:

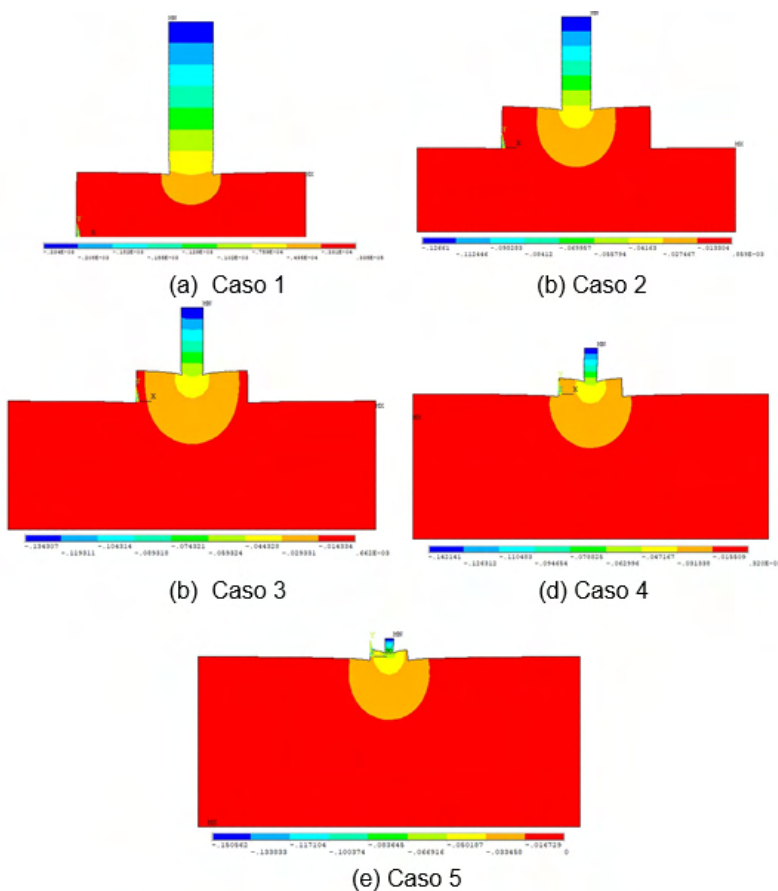


Figura 6 – Diagramas de deslocamentos verticais dos casos 1 ao 5.

Para avaliar as modelagens e as respostas apresentadas na Figura 6, foram feitos cortes em diferentes pontos da base da estrutura até o limite inferior do solo, a fim de buscar uma análise dos recalques em função da profundidade, seguindo a teoria de Terzaghi (1996), conforme mostrado no gráfico da Figura 7.

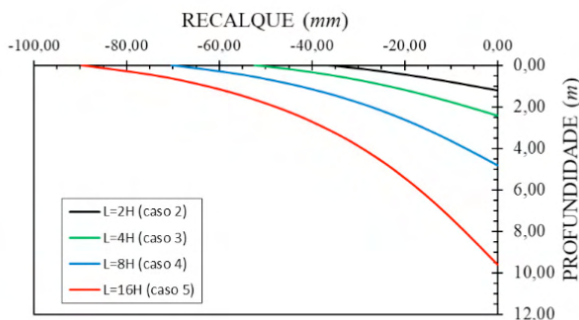


Figura 7 – Resultados de recalque vs profundidade em corte vertical na malha do solo para os casos 2, 3, 4 e 5.

Ao analisar a Figura 7 pode-se observar que os recalques obtidos no modelo numérico dependem da profundidade discretizada, o que já era de se prever, pois o solo é modelado como um meio elástico que após aplicar carregamento sofre efeito do carregamento até o local de apoio fixo (não transladável), ou seja, limite inferior da malha que surgem as reações de apoio. Tal limite é associado a uma camada impenetrável e de alta rigidez. Assim, para cada laudo de sondagem e, conseqüentemente, perfil de rigidez do terreno os recalques se alterarão.

Já em relação as tensões obtidas nas modelagens, foi feito uma revisão para buscar a malha ideal para conseguir captar o campo de pressão resultante no solo. Pode-se perceber nos diagramas dos casos 2, 3 e 4 que o bulbo não é formado e, mesmo com a aplicação da carga no pilar, isso ocorre devido a profundidade do solo que foi adotada na modelagem, visto que, de acordo com a carga aplicada no pilar e a base da sapata, estima-se a profundidade do bulbo como $2B$, onde B é a base da sapata. Sendo assim, nos casos 4 e 5, conforme as cotas apresentadas nos diagramas da Figura 8, foi possível mensurar a posição e tamanho do bulbo em acordo com a teoria.

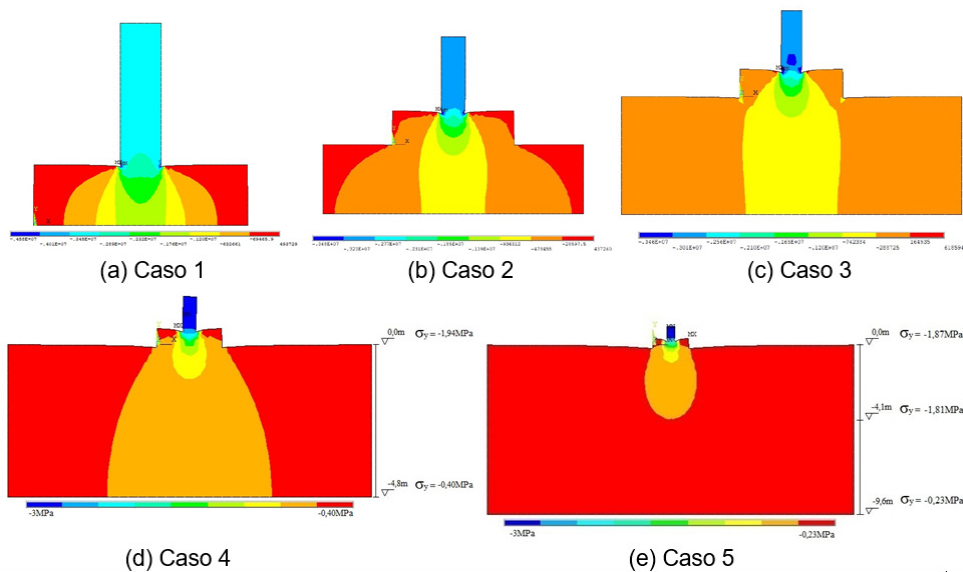


Figura 8 – Diagramas de tensões verticais (y) dos casos 1 a 5.

A seguir, mostram-se os gráficos (Figura 9) das análises das tensões na estrutura (base da sapata) e na base do solo (limite inferior da malha) para o primeiro conjunto de casos, do 1 ao 5. Pode-se notar no gráfico (a) da Figura 9, que as tensões na base da sapata diminuem de acordo com as alterações feitas na malha de solo. No caso 1, a estrutura está apoiada de forma indeformável, assim as tensões na base da sapata são maiores, então a partir do momento em que foi alterada a profundidade do solo (neste caso apenas o flexível), as tensões foram diminuindo e de valores próximos.

As tensões no contato da base da sapata não mudaram drasticamente. Se analisarmos os casos 2, 3, 4 e 5, levando em consideração a profundidade da malha do solo, as tensões não sofreram grandes mudanças, mostrando que isso não gera tanta influência na base da sapata. Em contrapartida, no caso 1, levando em consideração a sapata em apoios rígidos, temos até uma considerável diferença nos valores obtidos nas tensões na base da sapata. Nota-se que a estrutura apresenta tensões concentradas no centro, devido a carga ser aplicada de forma linear no centro do pilar, além de ocorrer um alívio de tensão nas bordas da estrutura, condizente com Bastos (2019), efeito apresentado na Figura 1.

Por outro lado, no gráfico (b) da Figura 9, nas tensões na base do solo, é perceptível que as tensões vão diminuindo de acordo com o aumento na profundidade e largura usada na modelagem. No caso 2, por exemplo, pode-se observar que o solo discretizado na direção horizontal com dimensões menores, apresenta tensões maiores, assim como nos casos 3, 4 e 5, onde de acordo com o aumento da dimensão do solo, as tensões vão diminuindo, mostrando a influência da malha de elementos finitos na análise. Tal efeito

condiz com a realidade, pois à medida que aumentamos a profundidade da malha de elementos finitos alcançamos tensões menores, semelhante as isóbaras de tensões do bulbo de pressão.

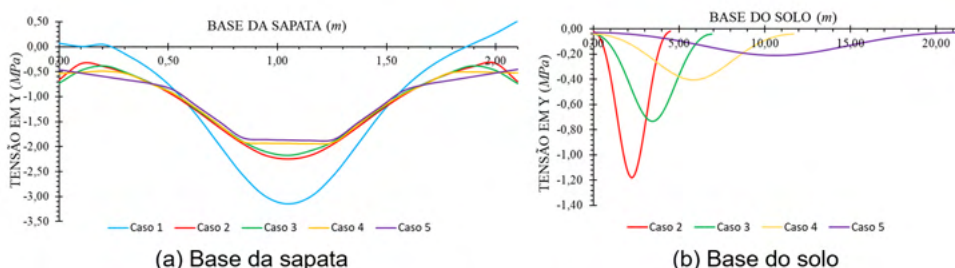


Figura 9 – Resultados de tensões em cortes horizontais na base da sapata e no limite inferior do solo.

Diante disso, pode-se observar que na modelagem de problemas de interação solo-estrutura o tamanho finito da discretização da malha no meio elástico pelo MEF influencia na análise dos deslocamentos, porém as tensões não sofrem alterações drásticas.

4.2 Análise do caso 6 ao caso 8

No segundo conjunto de casos, do 6 ao 8, temos situações que abordam a heterogeneidade do solo. Para iniciar a análise desse conjunto, é importante salientar que a profundidade da malha do solo do caso 5 foi adotada como padrão para os casos 6, 7 e 8, visto que se obteve um bulbo de tensões completo, conforme mostrado anteriormente.

No caso 6 foi modelado uma sapata com interação solo-estrutura, em três tipos de solos: do flexível, passando pelo intermediário, ao rígido. Já no caso 7, temos a situação contrária, onde a sapata está apoiada em um solo rígido ao flexível, e em ambos os casos, os solos apresentam uma não-linearidade física aproximada por diferentes módulos de elasticidade nas camadas. No caso 8, também é apresentado três tipos de solo heterogêneos, porém apresentam também uma não-linearidade geométrica nas camadas.

É notável nos diagramas abaixo da Figura 10, que os deslocamentos apresentados são maiores no caso 7. Neste caso 7, por exemplo, o deslocamento é ainda maior devido ao fato de que as pressões da sapata não se aliviam logo na primeira camada de solo rígida, fazendo com que a camada mais flexível seja atingida por elevadas tensões, assim temos nas camadas mais flexíveis uma deformabilidade maior. De tal modo, é nítido a importância em se considerar o alcance de tensões e deslocamentos aplicadas ao solo nos projetos de fundações, e não apenas considerar a camada em que irá apoiar o elemento estrutural.

Ainda na Figura 10 ao analisar o caso 8, que representa a heterogeneidade física e geométrica das camadas de solo, foi obtido um deslocamento maior na direção do solo mais flexível, ocasionando uma rotação da sapata, que já era prevista para o lado de menor

rigidez do solo.

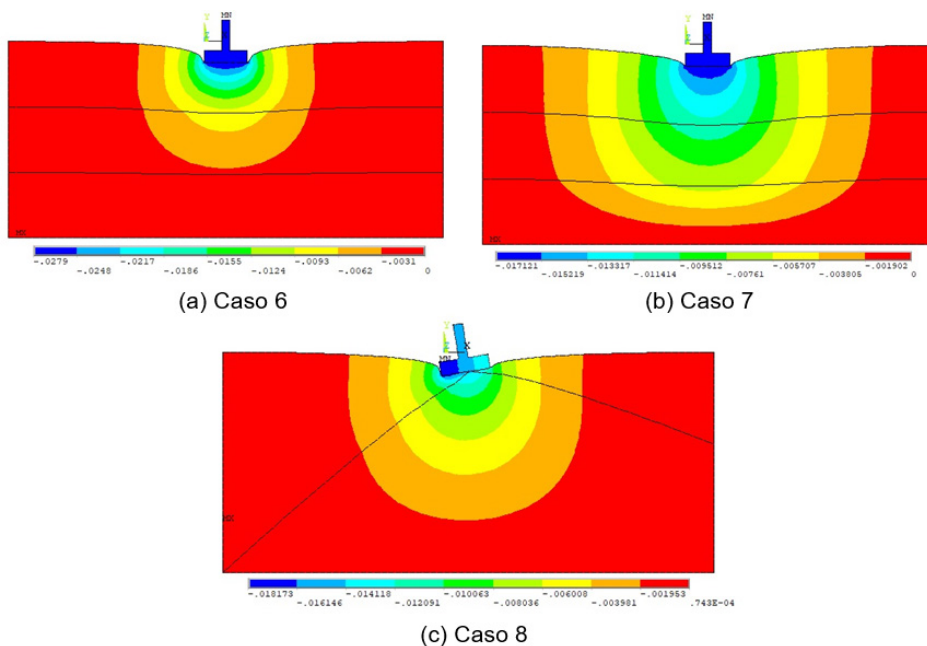


Figura 10 – Diagramas de deslocamentos verticais dos casos 6 a 8.

Na Figura 11, temos os gráficos que expressam cortes na malha de solo para análise da relação do recalque pela profundidade dos casos 6, 7 e 8. Em relação ao caso 5 anterior, nota-se no gráfico (a) da Figura 11 que o recalque dos casos 6 e 7 são menores, mesmo tendo a mesma profundidade da malha de solo. Além disso, no caso 6 na região da camada de solo flexível o recalque é maior do que no caso 7, porém na região de camada de solo com rigidez intermediária os efeitos se invertem, tornando contrários na última camada de solo em ambas as modelagens, refletindo que a imposição realizada na modelagem demonstra que os recalques estão relacionados a diferentes rigidezes do solo até mesmo em maiores profundidades. Portanto, ao analisar as Figuras 6 a 10 pode-se afirmar que a modelagem mais adequada de um problema de interação solo-estrutura é discretizar todas as camadas com sua respectiva rigidez e incluir os apoios na camada impenetrável, assim os recalques previstos serão simulados na condição de projeto. No gráfico (b) da Figura 11, o caso 8 foi dividido em dois cortes, visando resultados nas diferentes camadas dos solos, em que o recalque maior ocorre na camada superficial no corte A, consequentemente no solo flexível.

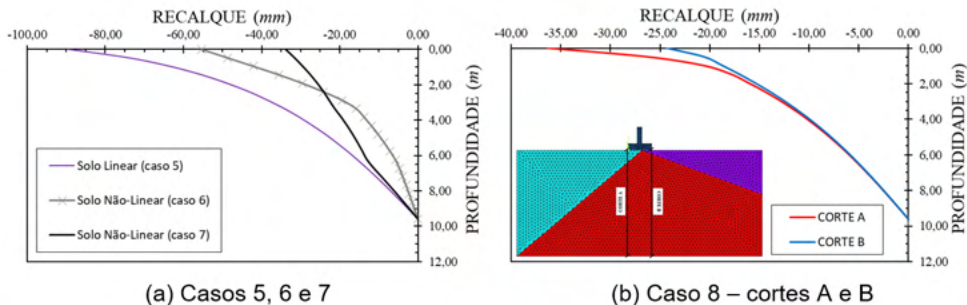


Figura 11 – Resultados de recalque vs profundidade em cortes verticais dos casos 5, 6, 7 e 8.

Em relação as tensões dos casos 6, 7 e 8, pode-se perceber nos próximos diagramas da Figura 12, que o solo absorve mais tensão no caso 6 (mais rígido nas primeiras camadas) do que o caso 7. Apesar disso, ambos os bulbos de pressão continuam seguindo a estimativa próxima de $2B$, mas com tendência de crescimento no caso 6, fazendo com que a carga atinja uma pressão maior em profundidades maiores. Tal efeito demonstra que é mais difícil as tensões se dissiparem em um solo com camadas superiores mais flexíveis e inferiores mais rígidas do que o contrário.

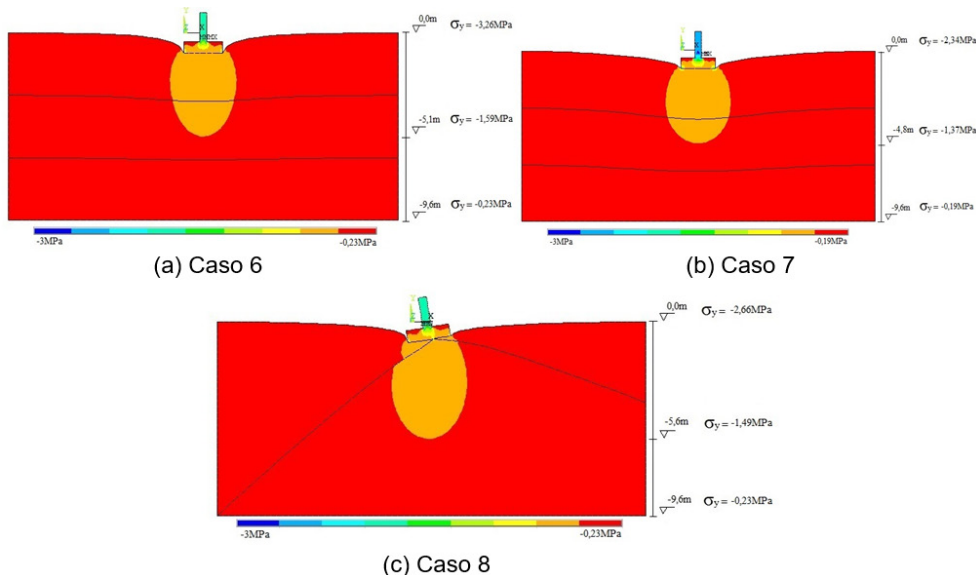


Figura 12 – Diagramas de tensões dos casos 6 ao 8.

No caso 6 o bulbo de tensão ainda está na estimativa prevista, mesmo aumentando gradativamente. Já o caso 7 é notável que o bulbo de pressão não aumenta drasticamente em relação ao caso 6, pelo contrário, ocorre uma pequena diminuição. E por fim, as tensões

do caso 8 seguem as mesmas tendências, apresentando uma pequena descontinuidade das tensões por conta da mudança de camadas do solo e da rotação da sapata.

No gráfico da Figura 13, são apresentados cortes feitos na base da sapata e na base do solo (limite da malha) para os casos 6, 7 e 8. Assim, no gráfico (a) da Figura 13 os casos 6 e 7, os resultados de tensões são próximos, porém o caso 6 apresenta tensões um pouco maiores nas bordas, fazendo com que, do ponto de vista da análise das tensões, ter um solo mais flexível traz resultados menos satisfatórios nas bordas da sapata. Além disso, ao incorporar diferentes rigidezes no solo em relação ao caso 1 (rígido), os casos 6 e 7 tem seu comportamento alterado quanto a distribuição de tensões na base, pois no caso 1 as maiores tensões estão no centro da sapata e no caso 6 e 7 os maiores valores se encontram nas bordas do elemento.

Ainda no gráfico (a) da Figura 13, no caso 8 ocorre uma oscilação nas tensões nos bordos da sapata de acordo com a posição de cada camada de solo na modelagem, ou seja, onde o solo está mais rígido as tensões são maiores.

Já o gráfico (b) da Figura 13 do corte horizontal das tensões na base do solo (limite da malha) observa-se que os casos 6 e 8 apresentam tensões semelhantes, entretanto o caso 7 resulta em tensões menores no solo, isto é, a camada rígida da malha do solo incluída logo em contato com a sapata, de uma certa forma absorve um pouco das tensões, fazendo com que elas caiam de forma discreta. Pode-se concluir que nos casos 6, 7 e 8 não ocorre grandes variações de tensão.

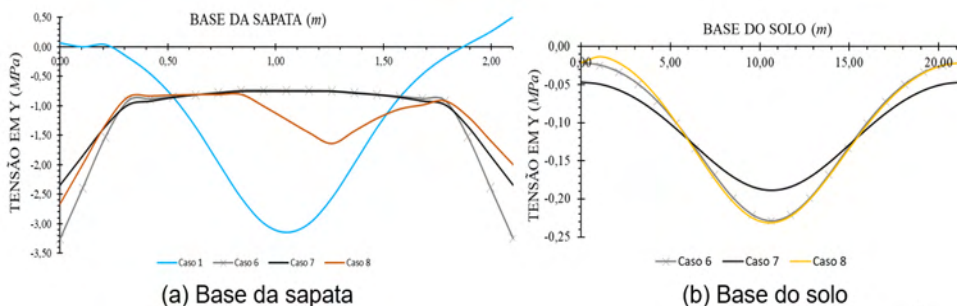


Figura 13 – Resultados de tensões em cortes horizontais na base da sapata e do solo.

51 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi abordada uma análise de estrutura de fundação superficial e seu respectivo comportamento sobre o solo, onde foram obtidos resultados relacionados a deslocamentos e tensões, assim como uma análise da influência da malha de elementos finitos nas simulações.

Nas análises dos casos 1 ao 8 pode-se afirmar que as modelagens realizadas

através do ANSYS, pelo Método dos Elementos Finitos (MEF), foram condizentes e os resultados obtidos foram satisfatórios, relacionando a não-homogeneidade do solo com o comportamento estrutural. Portanto, conclui-se que: i) o limite do apoio da malha de elementos finitos do solo discretizado deve atingir a respectiva camada impenetrável; ii) o solo deve ser discretizado até, no mínimo, a formação do bulbo de tensão; iii) a interação solo-estrutura pode ser representada por um meio elástico pelo MEF desde que não ocorram tensões de tração no contato solo-estrutura ou nas camadas da malha referente ao solo; iv) a distribuição de tensões na base da sapata estão fortemente relacionadas com a rigidez do próprio elemento estrutural e do solo de apoio.

REFERÊNCIAS

Alonso, U. R. (2019). **Exercícios de Fundações**. 3ª edição. Editora Edgard Blucher, São Paulo.

Antoniazzi, J. P. (2011). **Interação Solo-Estrutura de Edifícios com Fundações Superficiais**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122: Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro, 2019.

Bardet, J-P. **Experimental Soil Mechanics**. Prentice Hall, 1997.

Bastos, P. S. D. S. (2019). **Sapatas de Fundação**. Apostila Didática da Disciplina de Estruturas de Concreto III das Notas de Aula do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Estadual Paulista (UNESP). Bauru, SP, 2019.

Cintra, J.; Aoki, N.; Albiero, J. H. (2011). **Fundações Diretas: Projeto Geotécnico**. 1ª edição. Editora Oficina de Textos, São Paulo, 2011.

Colares, G. M. (2006). **Programa Para Análise da Interação Solo-Estrutura no Projeto de Edifícios**. Dissertação de Mestrado em Engenharia das Estruturas pela Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2006.

Cook, R. D. **Finite Element Modeling for Stress Analysis**. Wiley, 1995.

Guerra, M. V. P.; Sales, M. M. (2011). **Interação Fundação-Estrutura Em Edifícios Sobre Sapatas**. Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás. Goiânia, GO, 2011.

Hibbeler, R. C. (2010). **Resistência dos Materiais**. 7ª edição, Editora Makron, 2010.

Lopes, A. P. (2003). **Análise Estática e Dinâmica de Problemas de Interação Solo-Estrutura Utilizando Os Métodos dos Elementos Finitos e Infinitos**. Dissertação de Mestrado em Estruturas do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília. Brasília, DF, 2003.

Mendes, E. J. (2016). **Análise de Edifícios Considerando a Interação Solo-Estrutura**. Monografia de Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2016.

Milititsky, J.; Consoli, N. C.; Fernando, S. (2015). **Patologia das Fundações**. 2 Edição, São Paulo, Editora Oficina de Textos, 2015.

Silva, J. N. B. (2019). **Interação Solo-Estrutura em Edifícios Sobre Fundações Superficiais**. Trabalho de Conclusão de Curso pela Universidade Federal de Alagoas, 2019.

Soriano, H. L. **Elementos finitos: formulação e aplicação na estática e dinâmica das estruturas**. Ciência Moderna, 2009.

Terzaghi, K.; Peck, R. B.; Mesri, G. (1996). **Soil Mechanics In Engineering Practice**. 3rd Edition, New York: John Wiley and Sons INC.

Velloso, D. A.; Lopes, F.R. (2011). **Fundações: criterios de projeto, investigação do subsolo, fundações superficiais, fundações profundas**, 2^a edição, Editora Oficial de Textos, São Paulo.

Vitoretti, M. M. (2003). **Análise da Interação Solo-Estrutura Em Fundações De Concreto Armado Pelo Método dos Elementos Finitos**. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, 2003.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Aerogeradores 219
Agentes de navegação cooperativos 127
Alpaca 242, 243, 244, 248, 255
Análise por ativação neutrônica 99, 100, 105, 106
Antena de Microfita 155, 158
Antena Espiral 155, 156, 157, 158, 159, 161, 162, 164
Arquitetura de subsunção 127
Árvores de decisão 109, 111, 117, 125, 179, 180, 181, 182, 189
Assinatura acústica 219, 228, 229, 230
Automação distribuída 140, 142

B

Bandeiras têxteis 314, 324, 325

C

Capex 167, 168
Cidade 1, 2, 3, 5, 6, 7, 20, 21, 41, 42, 43, 45, 46, 47, 53, 54, 55, 56, 58, 63, 64, 65, 66, 73, 75, 80, 99, 315
Conexão 41, 42, 43, 48, 175, 176, 177, 183, 296
Conexões 41, 66, 142, 149, 167, 172, 174, 175, 176, 177
Conforto térmico 63, 64, 65, 66, 69, 70, 71, 73, 74, 75
Construção 1, 3, 26, 42, 44, 50, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 76, 77, 79, 80, 84, 88, 89, 90, 91, 150, 168, 169, 243, 294, 295, 324
Construção Civil 55, 56, 57, 58, 61, 62, 76, 77, 80, 88, 89, 90, 91
Controladores lógicos programáveis 140, 141
Controle 7, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 109, 138, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 150, 151, 152, 153, 154, 170, 180, 243, 244, 245, 260, 281, 287
Cristais fonônicos 234, 236
Custos 55, 62, 108, 167, 168, 169, 170, 171, 181

D

Defeitos 234, 235, 261, 262, 315

E

Edifício 3, 4, 41, 42, 43, 44, 45, 50, 51, 52

Eficiência 92, 95, 99, 104, 156, 195, 197, 200, 264, 292

Enchentes 1, 2, 3, 4, 5

Espaços abertos 49, 63, 66, 74, 75

Espectrometria gama 92, 94, 95, 96, 97, 104

F

Filmes finos de óxido de zinco 256, 268

G

Gerenciamento de risco 276, 277, 278, 285, 287

Gestão 5, 55, 56, 58, 59, 62, 73, 75, 78, 88, 113, 154, 167, 168, 169, 171, 178, 276, 283, 299, 326

I

Inteligência artificial 111, 276, 278

Interação solo-estrutura 22, 23, 26, 27, 29, 35, 36, 39, 40

Inventário 78, 79, 83, 85, 167, 168, 169, 170, 171, 177

J

Jeanswear 314, 315, 317, 318, 319, 320, 321, 322, 323, 324

L

Lâmpada UV-C 195, 196, 197, 198, 199, 200

Localização de faltas 179, 180, 182, 183, 191, 193

M

Mapas cognitivos dinâmicos 127

Medidores inteligentes 179, 180, 182, 183, 184, 185, 189, 191, 192

Método dos elementos finitos 22, 23, 27, 32, 39, 40, 234, 235

Microestrutura 242, 244, 245, 247, 252, 253, 254, 255

Milho 99, 100, 101, 102, 104, 105, 106, 107

N

Nanopartículas de prata 256, 257, 258, 261, 264, 265, 267, 268

Norma IEC 61499 140, 141, 142, 143, 144, 153, 154

Nutrientes 99, 100

O

Obras 42, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62

Opex 167, 168

P

Percepção térmica 63, 70, 72

Planejamento 21, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 64, 79, 168, 171, 172, 246

Polarização 155, 156, 163, 164

População Ribeirinha 1, 2, 4

Processo 7, 26, 27, 45, 57, 58, 76, 78, 79, 84, 86, 94, 109, 110, 112, 113, 114, 115, 124, 141, 144, 145, 153, 171, 172, 182, 184, 185, 186, 187, 189, 190, 191, 192, 193, 231, 243, 245, 247, 249, 252, 268, 276, 279, 280, 289, 290, 299, 316, 317

R

Recall 276, 277, 283, 284, 285, 286, 289, 290, 291, 292, 293, 294, 295, 299

Redes 7, 14, 17, 18, 19, 20, 109, 111, 138, 141, 142, 143, 155, 159, 167, 169, 170, 171, 172, 177, 179, 180

Redes elétricas inteligentes 169, 179, 180

Redução 7, 18, 20, 92, 94, 167, 168, 169, 197, 252, 268, 276, 278, 316

Rendimento 122, 195, 202

Robótica de enxame 127

Ruído 219, 220, 223, 225, 228, 229, 231, 234

S

Sapata 22, 24, 25, 28, 29, 31, 33, 34, 35, 38, 39

Saúde Pública 8, 219, 224, 231, 281

Sensores de gás 256, 258

Simulação estrutural 22, 23

Sistema Multiagentes 127

Sistemas de distribuição 179, 180

Sonogramas 219, 226, 228

T

Tecidoteca 314, 315, 324, 325

Técnicas construtivas 1, 5

Tecnologias cognitivas 276, 278

Telecomunicações 167, 168, 169, 170, 177, 326

Transformadores reguladores de tensão 140, 141

Turbinas eólicas 219, 230

V

Variáveis térmicas de solidificação 242, 244, 248, 249, 255

🌐 www.atenaeditora.com.br

✉ contato@atenaeditora.com.br

📷 @atenaeditora

📘 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

ENGENHARIAS:

Criação e repasse de tecnologias



Atena
Editora
Ano 2022

🌐 www.atenaeditora.com.br

✉ contato@atenaeditora.com.br

📷 @atenaeditora

📘 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

ENGENHARIAS:

Criação e repasse de tecnologias

