



**UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO**  
**ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO**  
**Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil**

**MICHELE JOYCE PEREIRA DOS SANTOS**

**REFORÇO DE UM SOLO ERODÍVEL COM RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E  
FIBRAS DE COCO BABAÇU**

Recife, PE  
2020



**UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO**  
**ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO**  
**Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil**

**MICHELE JOYCE PEREIRA DOS SANTOS**

**REFORÇO DE UM SOLO ERODÍVEL COM RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E  
FIBRAS DE COCO BABAÇU**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, da Escola Politécnica de Pernambuco da Universidade de Pernambuco como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Construção Civil

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra Kalinny Patrícia Vaz Lafayette

Recife, PE  
2020

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
Universidade de Pernambuco – Recife

S237r Santos, Michele Joyce Pereira dos  
Reforço de um solo erodível com resíduos de construção e fibras de coco babaçu. / Michele Joyce Pereira dos Santos. – Recife: UPE, Escola Politécnica, 2020.

137 f.: il.

Orientadora: Profa. Dra. Kalinny Patrícia V. Lafayette

Dissertação (Mestrado - Construção Civil) Universidade de Pernambuco, Escola Politécnica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2020.

1. Solo Erodível. 2. Resíduos de Construção Civil. 3. Fibras de Coco Babaçu. 4. Reforço de Solo. 5. Tomografia Computadorizada. I. Engenharia Civil – Dissertação. II. Lafayette, Kalinny Vaz (orient.). III. Universidade de Pernambuco, Escola Politécnica, Mestrado em Construção Civil. IV. Título.

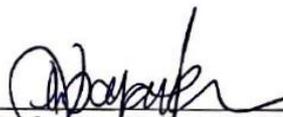
CDD: 690

**MICHELE JOYCE PEREIRA DOS SANTOS**

**REFORÇO DE UM SOLO ERODÍVEL COM RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E  
FIBRAS DE COCO BABAÇU**

**BANCA EXAMINADORA:**

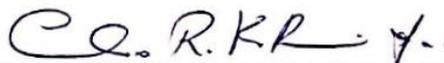
**Orientador(a)**



---

Prof. Dra. Kalinny Patrícia Vaz Lafayette  
Universidade de Pernambuco

**Examinadores**



---

Prof. Dra. Emilia Rahnemay Kohlman Rabbani  
Universidade de Pernambuco



---

Prof. Dr. Romildo Morant de Holanda  
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Recife-PE  
2020

## **DEDICATÓRIA**

A Deus por sua misericórdia e bondade infinita.  
Aos meus pais, Cássia e Gelsonito, por serem exemplos  
de generosidade e dedicação, e ao meu irmão, Anderson,  
por sempre me transmitir amor e confiança.

## **AGRADECIMENTOS**

A minha orientadora, professora Dra. Kalinny Patrícia Vaz Lafayette, por todo o esforço dedicado às correções e a busca pela excelência desse trabalho, também por acreditar na minha capacidade e por me incentivar a querer ser uma grande pesquisadora.

Aos meus colegas da turma 2018.1, os quais sempre estarão presentes na minha vida e memória. Agradeço-os pela integração e importante parceria desenvolvida ao longo do curso, além do apoio nos estudos das disciplinas e por todos os momentos de alegria compartilhados.

Em especial, à Thiago Augusto por sua generosa amizade, pelo companheirismo na realização dos ensaios e no desenvolvimento de toda a pesquisa. Obrigada por tudo e acredito que formamos uma verdadeira equipe.

A Túlio Wladimir por sua compreensão, pelo apoio nos momentos difíceis e, principalmente, pelo empenho em me proporcionar momentos de alegria e estímulo à continuidade dos estudos.

Ao técnico do laboratório de Mecânica dos Solos da Universidade de Pernambuco (UPE), Fábio Ferreira, por seu profissionalismo, dedicação, amizade, bem como pelo seu fundamental auxílio na realização dos ensaios físicos.

Aos técnicos do laboratório de Solos da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Antônio Brito e Gutemberg Francisco, por todo suporte e disponibilidade para orientação sobre a execução e interpretação dos resultados dos ensaios mecânicos.

Ao professor Dr. Antônio Celso Dantas Antonino, responsável pelo laboratório de Tomografia Computadorizada de Raios-X da Universidade Federal de Pernambuco (LTCR-X DEN-UFPE), ao técnico João Baptista da Silva Neto e ao doutorando Marcio Paixão pelo apoio e grande auxílio na realização dos ensaios de TC.

A Moacyr Neto, Jonas Bezerra, Paulo Marcelo, Guilherme Pereira por terem contribuído na realização da minha pesquisa, seja com o fornecimento de dados, desenvolvimento de trabalhos científicos ou auxiliando na realização dos ensaios laboratoriais.

Ao professor Dr. Joaquim Teodoro Romão de Oliveira, responsável pelo laboratório de Geotecnia da Universidade Católica de Pernambuco (LAB-GEO UNICAP), por permitir a realização dos ensaios de adensamento junto as instalações do referido laboratório e ao laboratorista Leandro Roberto, por toda instrução dada.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos, tão necessária para a minha permanência e manutenção durante todo o curso e a Universidade de Pernambuco (UPE) por disponibilizar auxílio financeiro para a aquisição de materiais utilizados na pesquisa e para a minha participação em eventos científicos.

Aos professores e colaboradores técnicos do programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Escola Politécnica de Pernambuco (POLI-UPE) que me proporcionaram momentos maravilhosos de aprendizado e me ajudaram com todos os protocolos durante o curso.

## RESUMO

Encontrar soluções eco amigáveis para a problemática dos resíduos sólidos, principalmente para os oriundos da construção civil e agronegócio, é uma alternativa para promover a manutenção sustentável do meio ambiente. Este estudo buscou analisar o comportamento de um solo erodível de uma encosta localizada na Ilha de Itamaracá/PE após a incorporação de resíduos de construção civil (RCC) - classe A, em teores de 29%, 29,5%, 49% e 49,5%, e fibras de coco babaçu em teores de 0,5% e 1,0% com comprimento de 30 mm. Como ferramenta metodológica, foi utilizada a investigação temporal para identificar os impactos ambientais causados pelo uso e ocupação do solo da encosta, bem como ensaios de caracterização física e mecânica do solo e dos compósitos para analisar a efetividade do reforço. A partir da avaliação de impacto ambiental e uso do sensoriamento remoto foi possível identificar que a área da encosta está sujeita à riscos eminentes de acidentes geotécnicos e hidráulico graves. Também foram verificadas características de processos erosivos no perfil da encosta, evidenciando a necessidade de monitoramento e aplicação de medidas mitigatórias. Os resultados dos ensaios laboratoriais mostraram que o solo da encosta é um argila inorgânica de baixa plasticidade, com características expansivas e que esse solo reforçado com 29,5% de resíduos e 0,5% de fibra, em relação à massa do compósito, tem sua resistência à compressão aumentada, atingindo o valor de 1230 kPa aos 120 dias de cura. Por meio dos ensaios de adensamento e tomografia computadorizada de raios-x, ainda se verificou que o reforço desse solo promove a redução de vazios presentes no solo, apontando para um melhor comportamento do solo frente à erosão hídrica. Desse modo, concluiu-se que a mistura de solo-RCC-fibra possui viabilidade técnica para ser aplicado como material de reforço, tanto do ponto de vista geotécnico quanto ambiental.

**Palavras-chave:** Solo erodível, resíduos de construção civil, fibras de coco babaçu, reforço de solo, tomografia computadorizada.

## ABSTRACT

Finding ecologically correct solutions to the problem of solid waste, especially for civil construction and agribusiness, is an alternative to promote the sustainable maintenance of the environment. This study sought to analyze the behavior of an erodible soil on a slope located on the island of Itamaracá / PE after the incorporation of construction waste (C&D) - class A, with contents of 29%, 29.5%, 49% and 49.5% and babassu coconut fibers in contents of 0.5% and 1.0% with a length of 30 mm. As a methodological tool, temporal research was used to identify the environmental impacts caused by the use and occupation of the inclined soil, as well as tests of physical and mechanical characterization of the soil and composites to analyze the effectiveness of the reinforcement. From the environmental impact assessment and the use of remote sensing, it was possible to identify that the slope area is subject to imminent risks of serious geotechnical and hydraulic accidents. Erosive process characteristics were also verified in the slope profile, showing the need for monitoring and application of mitigation measures. The results of the laboratory tests showed that the inclined soil is an inorganic clay of low plasticity, with expansive characteristics and that this soil reinforced with 29.5% of residues and 0.5% of fiber, in relation to the mass of the composite, has resistance. the compression increased, reaching 1230 kPa at 120 days of curing. Through densification tests and X-ray computed tomography, it was also found that the reinforcement of this soil promotes the reduction of voids present in the soil, pointing to a better behavior of the soil in the face of water erosion. Thus, it was concluded that the mixture of soil-RCC-fiber has technical feasibility to be applied as reinforcement material, both from a geotechnical and environmental point of view.

**Keywords:** Erodible soil, construction residues, babassu coconut fibers, soil reinforcement, x-ray computed tomography.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Formação de voçorocas no solo .....	19
Figura 2.2 – Deslizamento de terra no bairro Dois Unidos, Recife/PE.....	20
Figura 2.3 – Técnicas de melhoramento e reforço de solos .....	23
Figura 2.4 – Mecanismos de reforço do solo com fibras.....	24
Figura 2.5 – Fibras naturais de juta (a), sisal (b) e coco verde (c) .....	26
Figura 2.6 – Correlação entre teor e comprimento ideal para as fibras de coco verde, juta e sisal .....	33
Figura 2.7 – Fibras sintéticas de polipropileno (a) e vidro (b). .....	34
Figura 2.8 – Ocorrência de palmeira de babaçu no território brasileiro.....	36
Figura 2.9 – Quebra do coco babaçu .....	37
Figura 2.10 – Palmeira do babaçu .....	38
Figura 2.11 – Quantidade de amêndoas por espécies de coco babaçu .....	38
Figura 2.12 – Composição média de frutos de babaçu (% em peso).....	39
Figura 2.13 – Fluxo produtivo do coco babaçu .....	40
Figura 3.1 – Localização da Ilha de Itamaracá/PE .....	54
Figura 3.2 – Mapa geológico da Ilha de Itamaracá/PE.....	55
Figura 3.3 – Mapa de solos da Ilha de Itamaracá/PE .....	56
Figura 3.4 – Precipitações médias mensais do período de 2004 a 2019, Ilha de Itamaracá/PE .....	58
Figura 3.5 – Ocupação da Ilha de Itamaracá/PE .....	60
Figura 3.6 – Lançamento de efluentes na praia do Pilar, Ilha de Itamaracá/PE.....	61
Figura 3.7 – Casas construídas as margens de riachos, Ilha de Itamaracá/PE .....	62
Figura 4.1 – Desenvolvimento da pesquisa .....	63
Figura 4.2 – Localização do ponto de coleta (a) e aspecto do solo (b) .....	67
Figura 4.3 – Processo de britagem e separação do RCC .....	68
Figura 4.4 – Processo de beneficiamento das fibras de coco babaçu .....	68
Figura 4.5 – Difratoograma de raios-x do solo.....	69
Figura 4.6 – Difratoograma de raios-x do RCC .....	70
Figura 4.7 – Corpo de prova do ensaio de compactação .....	73
Figura 4.8 – Controle tecnológico dos corpos de prova para ensaio de compressão simples	74
Figura 4.9 – Rompimento dos corpos de prova para ensaio de compressão simples.....	75
Figura 4.10 – Saturação de amostra para ensaio de adensamento unidimensional .....	76
Figura 4.11 – Microtomográfico modelo NICON XT H 225 ST .....	78
Figura 4.12 – Diagrama esquemático dos corpos de prova e da área de seleção para reconstrução tridimensional.....	78
Figura 4.13 – Processo de limiarização manual .....	79
Figura 5.1 – Diagrama de causa e efeito .....	81
Figura 5.2 – Processo erosivo no perfil da encosta .....	82
Figura 5.3 – Uso e ocupação da área da encosta em 1975 .....	85
Figura 5.4 – Uso e ocupação da área da encosta em 1989 .....	86
Figura 5.5 – Uso e ocupação da área da encosta em 1998 .....	87

Figura 5.6 – Uso e ocupação da área da encosta em 2018 .....	88
Figura 5.7 – Degradação da área de encosta entre 1975, 1989, 1998 e 2018.....	90
Figura 5.8 – Curva granulométrica do solo e do RCC .....	92
Figura 5.9 – Curvas do ensaio de compactação.....	95
Figura 5.10 – Crescimento percentual da RCS dos compósitos de solo-RCC-fibra.....	99
Figura 5.11 – Curvas de Tensão x Deformação dos compósitos solo-RCC-fibra.....	100
Figura 5.12 – Crescimento percentual da RCS dos compósitos de solo-fibra .....	102
Figura 5.13 – Curvas de Tensão x Deformação dos compósitos solo-fibra.....	103
Figura 5.14 – Aspectos do corpo de prova antes (a) e após (b) o ensaio de compressão simples .....	104
Figura 5.15 – Plano de ruptura em corpo de prova após compressão .....	104
Figura 5.16 – Curva índice de vazios x Tensão efetiva do solo, RCC e compósitos solo-RCC-fibra.....	105
Figura 5.17 – Curva índice de vazios x Tensão efetiva do solo, RCC e compósitos solo-fibra .....	105
Figura 5.18 – Imagens obtidas por tomografia computadorizada .....	109
Figura 5.19 – Comparativo entre os teores de porosidade obtidos nos ensaios de adensamento unidimensional e tomografia computadorizada.....	111

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Propriedades físicas e mecânicas das fibras naturais de coco verde, coco babaçu, juta e sisal .....	27
Tabela 2.2 – Propriedades químicas das fibras naturais de coco verde, coco babaçu, juta e sisal .....	28
Tabela 2.3 – Índice de biodegradabilidade das fibras naturais de coco verde, coco babaçu, juta e sisal .....	28
Tabela 2.4 – Fibras naturais de coco verde, sisal e juta no reforço de solos .....	30
Tabela 2.5 – Valores de covariância, coeficiente de correlação e do coeficiente de determinação para as variáveis “teor” e “comprimento” ideal de fibras .....	33
Tabela 2.6 – Propriedades físicas e mecânicas das fibras sintéticas de vidro e polipropileno .....	34
Tabela 2.7 – Preço médio pago ao extrativista – amêndoa de babaçu (R\$/kg).....	41
Tabela 2.8 – Preço médio pago ao produtor de azeite e óleo de babaçu (R\$/kg).....	42
Tabela 2.9 – Mercado para os subprodutos do Babaçu .....	42
Tabela 2.10 – Quantidade de pontos de deposição irregular de RCC mapeados na Região Metropolitana do Recife (RMR) .....	45
Tabela 2.11 – Estimativa de geração de RCC per capita anual em diversos países no mundo	46
Tabela 2.12 – Estimativa de geração de RCC nos municípios brasileiros .....	48
Tabela 2.13 – Normas brasileiras sobre resíduos de construção civil (RCC) .....	49
Tabela 4.1 – Caracterização física do solo e do RCC .....	69
Tabela 4.2 – Nomenclatura dos compósitos .....	71
Tabela 4.3 – Parâmetros para aceitação dos corpos de prova .....	74
Tabela 5.1 – Dados do uso e ocupação do solo .....	84
Tabela 5.2 – Previsão de Uso e Ocupação do Solo em 2028 para área de estudo.....	91
Tabela 5.3 – Classificação SUCS para o solo e RCC.....	93
Tabela 5.4 – Densidade real das partículas do solo, RCC e compósitos.....	93
Tabela 5.5 – Limites de Atterberg .....	94
Tabela 5.6 – Umidades ótimas e densidades seca máxima .....	95
Tabela 5.7 – Valores de resistência à compressão simples máxima dos compósitos de solo-RCC-fibra .....	98
Tabela 5.8 – Valores de resistência à compressão simples máxima dos compósitos de solo-fibra.....	101
Tabela 5.9 – Variação dos índices de vazios e teores de porosidade do solo, RCC e compósitos obtidos no ensaio de adensamento unidimensional.....	106
Tabela 5.10 – Índice de compressão (Cc) do solo natural e dos compósito.....	107
Tabela 5.11 – Teores de porosidade do solo, RCC e compósitos obtidos no ensaio de tomografia computadorizada .....	110

## LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
APA	Área de Proteção Ambiental
APAC	Agência Pernambucana de Águas e Clima
AR	Agregado Reciclado
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
CACB	Confederação das Associações Comerciais e Empresariais do Brasil
Cc	Coefficiente de curvatura
CH <sub>4</sub>	Metano
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CONDEPE/ FIDEM	Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco
CP	Corpo de prova
CPRH	Agência Estadual de Meio Ambiente
Cu	Coefficiente de uniformidade
EC	<i>European Centre</i>
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
GIZ	<i>Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit</i>
HCNM	<i>High Commissioner on National Minorities</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEPAGRO	Instituto de Estudos e Pesquisa do Agronegócio Rondoniense
IP	Índice de Plasticidade
LACC	Laboratório Avançado de Construção Civil
LMS	laboratório de Mecânica dos Solos
MAPA	Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento
MIQCB	Movimento Interestadual das Quebradeiras de Coco Babaçu
MMA	Ministério do Meio Ambiente
N <sub>2</sub> O	Óxido nitroso
NBR	Norma brasileira

NOX	Número de Oxidação
WMO	<i>World Meteorological Organization</i>
ONU	Organização das Nações Unidas
PE	Pernambuco
PET	Polietileno Tereftalato
PGPM-Bio	Política de Garantia de Preços Mínimos para os Produtos da Sociobiodiversidade
PGRCC	Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil
PIB	Produto Interno Bruto
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
POLI	Escola Politécnica de Pernambuco
RCC	Resíduo de Construção Civil
RCS	Resistência à Compressão Simples
RMR	Região Metropolitana do Recife
RSU	Resíduo Sólido Urbano
SEMATUR	Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Turismo de Bequimão
SGB	Sistema Geodésico Brasileiro
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SIRGAS2000	Geocêntrico para as Américas 2000
SO <sub>2</sub>	Dióxido de enxofre
TAPPI	Technical Association of the Pulp and Paper Industry
UE	União Europeia
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
UPE	Universidade de Pernambuco
URPVs	Unidades de Recebimento de Pequenos Volumes
UTM	Universal Transversa de Mercator

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>1.1</b>	<b>Justificativa .....</b>	<b>15</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivos.....</b>	<b>17</b>
1.2.1	Geral .....	17
1.2.2	Específicos.....	17
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>18</b>
<b>2.1</b>	<b>Solos erodíveis.....</b>	<b>18</b>
<b>2.2</b>	<b>Impactos do uso e ocupação de solos .....</b>	<b>19</b>
<b>2.3</b>	<b>Indicadores ambientais .....</b>	<b>21</b>
<b>2.4</b>	<b>Melhoramento e reforço de solos .....</b>	<b>22</b>
<b>2.5</b>	<b>Utilização de fibras na engenharia.....</b>	<b>25</b>
2.5.1	Fibras naturais .....	25
2.5.1.1	<i>Biodegradabilidade das fibras naturais.....</i>	<i>28</i>
2.5.1.2	<i>Teor e comprimento ideal para as fibras naturais.....</i>	<i>29</i>
2.5.1.3	<i>Correlação entre teor e comprimento ideal para as fibras naturais .....</i>	<i>32</i>
2.5.2	Fibras sintéticas .....	34
<b>2.6</b>	<b>Coco babaçu.....</b>	<b>35</b>
2.6.1	Cadeia produtiva do babaçu .....	37
2.6.2	Impactos ambientais da exploração do babaçu .....	43
<b>2.7</b>	<b>Resíduos de construção civil (RCC).....</b>	<b>44</b>
2.7.1	Geração de resíduos da construção civil (RCC).....	45
2.7.2	Reaproveitamento dos resíduos da construção civil (RCC).....	49
<b>3</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>53</b>
<b>3.1</b>	<b>Aspectos gerais.....</b>	<b>53</b>
<b>3.2</b>	<b>Aspectos físicos .....</b>	<b>54</b>
3.2.1	Geologia .....	54
3.2.2	Solos .....	56
3.2.3	Relevo.....	57
3.2.4	Clima .....	58
3.2.5	Hidrologia.....	58
<b>3.3</b>	<b>Aspectos de uso e ocupação .....</b>	<b>59</b>
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>63</b>
<b>4.1</b>	<b>Investigação temporal .....</b>	<b>64</b>
4.1.1	Mapas de uso e ocupação do solo .....	64
4.1.2	Construção das redes de interações .....	65

4.1.3	Rede de interações combinada ao sensoriamento remoto .....	66
4.1.4	Previsão do cenário futuro de uso e ocupação do solo .....	66
<b>4.2</b>	<b>Coleta de materiais .....</b>	<b>67</b>
<b>4.3</b>	<b>Caracterização do solo e do RCC .....</b>	<b>69</b>
<b>4.4</b>	<b>Escolha dos percentuais dos compósitos .....</b>	<b>71</b>
<b>4.5</b>	<b>Programa experimental .....</b>	<b>71</b>
4.5.1	Ensaio de caracterização física .....	72
4.5.2	Ensaio de caracterização mecânica.....	72
4.5.2.1	<i>Compactação</i> .....	73
4.5.2.2	<i>Compressão simples (CS)</i> .....	73
4.5.2.3	<i>Adensamento unidimensional</i> .....	75
4.5.3	Ensaio Não Destrutivo (END).....	77
<b>5</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>81</b>
<b>5.1</b>	<b>Impactos ambientais na área da encosta.....</b>	<b>81</b>
5.1.1	Diagrama de causa-efeito .....	81
5.1.2	Avaliação dos indicadores ambientais .....	82
5.1.3	Dados do sensoriamento remoto .....	84
5.1.4	Análise temporal do uso e ocupação do solo .....	89
5.1.5	Perspectivas futuras de ocupação na área da encosta.....	90
<b>5.2</b>	<b>Caracterização física .....</b>	<b>92</b>
5.2.1	Granulometria.....	92
5.2.2	Densidade real .....	93
5.2.3	Limites de Atterberg.....	94
<b>5.3</b>	<b>Caracterização mecânica .....</b>	<b>95</b>
5.3.1	Compactação .....	95
5.3.2	Compressão simples .....	97
5.3.2.1	<i>Compósitos de solo-RCC-fibra</i> .....	98
5.3.2.2	<i>Compósitos de solo-fibra</i> .....	101
5.3.2.3	<i>Deslocamento axial</i> .....	104
5.3.3	Adensamento unidimensional .....	105
<b>5.4</b>	<b>Caracterização por Tomografia Computadorizada.....</b>	<b>109</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>112</b>
<b>7</b>	<b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>114</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>115</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os modelos de produção de bens e serviços têm por objetivo o atendimento às exigências de seus consumidores, o que pode variar a depender do estilo de vida e ambiente em que se vive. Os países desenvolvidos consomem grande parte do que é produzido atualmente, acentuando a disparidade entre países ricos e pobres. Os impactos negativos do consumo, como a exaustão dos recursos naturais e a poluição, já podem ser percebidos e a mitigação destes tem sido objeto de investigação.

A Organização das Nações Unidas (ONU) incluiu na Agenda 2030, destinada a estabelecer os planos de ações para os países-membros, 17 objetivos que visam a criação de 8 medidas transformadoras para o combate à mudança do clima. É esperado o uso eficiente dos recursos naturais e redução na geração de resíduos, por meio da prevenção, reciclagem, reuso e ainda o desenvolvimento coordenado de baixas emissões de carbono até o ano de 2030 (ONU, 2015).

Segundo a ONU (2015), “a mudança climática é o principal desafio de nosso tempo”. Assim, a *World Meteorological Organization* (WMO) verificou que a temperatura média global para 2015–2019 é a mais quente de qualquer período equivalente já registrado e que os níveis atuais dos gases de efeito estufa (GEE), como o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) representam, respectivamente, 146%, 257% e 122% de aumento em relação aos níveis pré-industriais (WMO, 2019).

O enfrentamento das mudanças climáticas, principalmente provocadas por emissões GEE, tem sido uma das preocupações do estado de Pernambuco/BR, devido ao estado se localizar em uma das áreas mais vulneráveis à repercussão dessas mudanças, tanto nas regiões litorâneas de baixa declividade como na porção do estado sujeita à desertificação (PERNAMBUCO, 2019).

Em 2019, o estado de Pernambuco elaborou o Inventário Estadual de Emissões de Gases do Efeito Estufa e no qual consta que em 2018 foram geradas 118.898,4 toneladas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), na produção de cimento – cal - vidro, os três importantes representantes da indústria mineral do estado. Verifica-se, ainda, que 54,4% dessas emissões está associada à produção de cimento.

Na cadeia produtiva da construção civil são gerados resíduos sólidos, poeira e gases poluentes, como o CO<sub>2</sub>, principal causa do efeito estufa (SUN; XU, 2016; SORIN *et al.*, 2017). Em 2018,

o setor de serviços foi responsável pelo crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro, no qual estão incluídas as atividades imobiliárias e tendo estas avançado 3,1%.

No entanto, em 2017 o setor de agronegócios impulsionou o PIB do Brasil, para o qual se registrou crescimento de 1,1% (CACB, 2018). Nesse setor, o grande problema ambiental também é a geração de resíduos sólidos. Além disso, a produção agrícola para consumo de alimentos contribui com 19% - 29% das emissões de GEE, em nível global (VERMEULEN *et al.*, 2012; CLUNE; CROSSIN; VERGHESE, 2017).

Aterros sanitários têm sido instalados como alternativa para disposição adequada de resíduos, principalmente em países em desenvolvimento (LACASTRO; ANGELIS, 2016). No entanto, os resíduos oriundos da construção civil, como os componentes cerâmicos e concreto, possuem potencial para reutilização ou reciclagem. Esse potencial também é encontrado nos resíduos fibrosos resultantes de processos agrícolas.

Os resíduos fibrosos podem ser aplicados na produção de materiais compósitos (ANGGRAINI *et al.*, 2016), ou seja, podem ser misturados com outro material para a melhoria em suas propriedades, como na adição de fibras em solos para aumento da resistência ao cisalhamento. A técnica de estabilizar solos com agregados reciclados dos resíduos de construção também tem sido investigado (FERREIRA; THOMÉ, 2011; MACEDO, 2013; VIEIRA; PEREIRA, 2015; SANTOS NETO, 2015; PORTELA, 2019; NASCIMENTO, 2019).

O ciclo de vida de um compósito apresenta menor impacto a saúde humana e ao meio ambiente (ZHANG *et al.*, 2018; WU *et al.*, 2018). O gerenciamento em conjunto dos resíduos sólidos da construção civil e a agroindústria pode contribuir significativamente com a redução da poluição ambiental e consumo de matérias primas.

### **1.1 Justificativa**

A agroindústria no Brasil está associada ao extrativismo de diversas culturas, como a do coco. Quando as cascas de coco são dispostas em aterros, incorrem em custo de coleta e disposição de R\$ 124/t, aproximadamente. Esse custo é superior ao que seria gasto para destinar o mesmo resíduo às usinas de processamento/beneficiamento ou cooperativas de produtores (DIAS *et al.*, 2012; SILVEIRA, 2008).

É comum destinar a biomassa de coco (casca) para a conversão em energia (carvão). Contudo, essa destinação gera impactos ambientais, tais como a produção de gases de efeito estufa (GEE) durante a queima. Verifica-se, também, que a disposição desse material em aterros pode provocar a geração de lixiviados (ASIM *et al.*, 2015; DE FIGUEIRÊDO *et al.*, 2010).

Nesse contexto, a técnica de misturar fibras naturais ao solo é uma prática conhecida (GOWTHAMAN; NAKASHIMA; KAWASAKI, 2018), além de se apresentar como uma excelente alternativa, pois contribui com o reuso de resíduos e assim agrega valor ao produto (MENEZES, 2018; SELVARAJ *et al.*, 2019).

É possível encontrar pesquisas que investigam sobre o potencial fibroso da espécie do coco verde e sobre técnicas para o beneficiamento desse fruto. No entanto, pouca atenção tem sido dada a espécie Babaçu, esse que é um recurso natural que integra sistemas de subsistência e tradicionais no Brasil, principalmente nos estados do Maranhão e Piauí (SLUSZZ; MACHADO, 2006).

Em relação aos resíduos de construção e demolição, verifica-se a carência no cumprimento das políticas públicas voltadas a gestão do resíduo sólido, por parte da sociedade como um todo. Cabe ressaltar que, de acordo com a PNRS, as empresas de construção civil estão sujeitas a elaborar um plano de gerenciamento dos resíduos produzidos pelas mesmas (BRASIL, 2010). Esse plano deve incluir um diagnóstico do resíduo, bem como sua caracterização, origem, o volume e os passivos ambientais a eles relacionados.

Na cidade de Recife/PE, parte das grandes empresas de construção civil têm elaborado o Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC), com o qual é realizado o monitoramento dos resíduos produzidos nos canteiros de obras, além da segregação correta desse material para a correta destinação final. Entretanto, esse gerenciamento não é realizado por parte dos pequenos geradores (construções individuais), tendo Paz, Lafayette e Sobral (2018) georreferenciado 565 pontos de disposição irregular de RCC na cidade.

O presente estudo busca por materiais alternativos para uso na construção civil, principalmente para o melhoramento de solo erodível, de modo a fornecer um compósito (solo, RCC e fibra de coco babaçu) com ganhos nas propriedades físicas e mecânicas.

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Geral

Analisar o solo erodível de uma encosta situada à Ilha de Itamaracá/PE, após a incorporação de resíduo da construção civil (RCC) e fibras de coco babaçu, como subsídio para melhoramento geotécnico do solo da encosta.

### 1.2.2 Específicos

No delineamento desse trabalho foram considerados os seguintes objetivos específicos:

- investigar temporalmente as consequências dos processos erosivos na dinâmica da encosta, decorrentes de ações antrópicas;
- avaliar as propriedades físicas do solo, do RCC com fibras de coco babaçu e das misturas com diferentes percentuais de composição;
- analisar as propriedades mecânicas do solo e dos compósitos com os diferentes percentuais de solo com adição de RCC e fibras de coco babaçu;
- identificar o teor ideal de RCC e de fibra de coco babaçu para o melhoramento do solo investigado a partir dos resultados da análise mecânica.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesse capítulo são apresentadas informações sobre solos erodíveis, impactos decorrentes do uso e ocupação do solo e indicadores ambientais; um breve histórico de trabalhos relacionados às técnicas de melhoramento e reforço de solos com a incorporação de fibras naturais e sintéticas. Em especial, trata-se-a do coco babaçu, bem como os aspectos da cadeia produtiva e impactos da exploração dessa espécie vegetal. Por fim, se abordam informações sobre resíduos de construção civil (RCC) e dados de geração e reaproveitamento desses os resíduos.

### 2.1 Solos erodíveis

A erosão pode ser definida como o processo físico que consiste na degradação e no transporte do solo por agentes de erosão, como a água e o vento. A intensidade com que esses agentes removem material do solo depende da cobertura vegetal, assim quanto menos protegido o solo estiver, maior a sua exposição às forças erosivas (OLIVEIRA; SANTOS; ARAUJO, 2018).

A cobertura vegetal proporciona uma barreira física ao excesso de precipitação, reduzindo o impacto das gotas de chuva sobre o solo e aumentando o tempo de infiltração da água, consequentemente diminui a perda de solo e reduz o escoamento superficial (SANTOS et al., 2017). (SANTOS et al., 2016; LIMA et al., 2015; FERNANDES, 2015; RODRIGUES et al., 2013; CARVALHO et al., 2012; MACCI *et al.*, 2012),

Pinheiro *et al.* (2018) verificaram a eficiência da cobertura vegetal na redução de perdas do solo sob a influência de chuvas e concluíram que a parcela com solo exposto perde, em média, aproximadamente 17 vezes mais solo em relação à parcela com vegetação, demonstrando a vulnerabilidade do solo após a retirada da cobertura vegetal.

O tipo de solo também é determinante nos processos erosivos, de modo que mais propícios à erosão são os arenosos, se destacando os de granulação fina, secos, ácidos, pouco coesivos, coluviais e porosos (FONSECA, 2014). Esta susceptibilidade à erosão, chamada de erodibilidade, é um uma propriedade intrínseca do solo e que retrata o grau de facilidade para destacamento e transporte de suas partículas (OLIVEIRA; SANTOS; ARAUJO, 2018).

A preocupação com a erosão dos solos atingiu um alto nível de importância em diversas regiões do mundo. Em particular, as áreas áridas e semiáridas são mais impactadas com a degradação do solo, devido à perda da cobertura vegetal. “A erosão é considerada um dos problemas

ambientais mais alarmantes enfrentados na atualidade, em virtude da redução de áreas favoráveis para a agricultura, assoreamento dos recursos hídricos e deslizamentos de terra” (FERNANDES, 2015).

A erosão pela água é comum em regiões de elevadas precipitações pluviométricas e em áreas com solo revolvido e sem cobertura vegetal e é mais intensa em áreas de topografias acidentadas. Segundo Leite *et al.* (2016), a erosão hídrica é a mais significativa observada no Brasil, devido as suas condições climáticas e aos fluxos de água.

Nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil é comum o aparecimento de sulcos, ravinas e voçorocas, estes que consistem na formação de grandes aberturas (buracos) no solo e que são decorrentes da erosão pluvial e intempéries e, ainda, estão geralmente associados ao uso do solo (EMBRAPA, 2007), conforme apresentado na Figura 2.1.

Figura 2.1 – Formação de voçorocas no solo



Fonte: EMBRAPA (2007).

## 2.2 Impactos do uso e ocupação de solos

A interferência humana nas condições naturais do solo, também conhecida como ação antrópica, pode intensificar a ocorrência de desastres, como o movimento de massas (ZAIDAN; FERNANDES, 2016). Essa situação é verificada, principalmente, em áreas próximas a encostas, as quais estão quase sempre suscetíveis a riscos.

No Brasil, diversas regiões passaram pelo processo de expansão urbana, não planejada, na qual uma parcela da população ocupou áreas próximas a encostas, intensificando os processos erosivos do solo e favorecendo acontecimentos como o deslizamento de terra (SCHLEE, 2013).

Santos, Silva e Lafayette (2018) verificaram que uma encosta situada em Recife/PE apresentava condições sérias de degradação ambiental. Os autores concluíram que os processos erosivos tinham raízes em um conjunto de impactos decorrentes de ações antrópicas, como a degradação vegetal e a deposição irregular de resíduos sólidos.

De acordo com Coutinho (2019), somente para a cidade de Recife/PE se registraram 22 mortes por deslizamento de terra em 2019. Uma vez que desastres atinjam a uma determinada região, deixam um rastro de destruição com perdas humanas e materiais (VARSHNEY; RAJESH, 2013), conforme Figura 2.2.

Figura 2.2 – Deslizamento de terra no bairro Dois Unidos, Recife/PE



Fonte: Acervo pessoal.

De modo a monitorar a recorrência de impactos ambientais e a contribuir com a tomada de decisões na gestão do planejamento urbano, podem ser utilizadas metodologias para avaliação de impactos ambientais que identifique os seus indicadores, bem como as causas e efeitos da degradação ao ambiente.

No entanto, essas metodologias para avaliação de impactos possuem caráter subjetivo na abordagem do meio físico, fazendo-se necessário o emprego de técnicas complementares, como sensoriamento remoto, este que consiste no mapeamento e monitoramento de áreas através do uso de imagens de satélite.

O sensoriamento remoto é uma técnica que se constitui em um importante instrumento no entendimento das ações humanas sobre os ecossistemas, facilitando a constatação do surgimento de desequilíbrio ambiental (PETRY; DO ROSÁRIO LIMA; LAHM, 2012). Conforme He *et al.* (2010) as imagens do sensoriamento remoto são úteis para acompanhar o crescimento de áreas urbanas, além da capacidade de fornecer visões da cobertura da terra ao longo do tempo.

Os dados do sensoriamento remoto, através do Sistema de Informação Geográfica (SIG), são compatibilizados e podem ser transformadas em mapas sobre a área investigada, que servem de insumo básico nas decisões de planejamento e gestão (MONDAL *et al.*, 2015).

### **2.3 Indicadores ambientais**

As ferramentas de avaliação que apresentam tendências e progressos ao longo do tempo de determinados fenômenos, constituem-se em informações quantificadas/ científicas, também conhecidas como indicadores. Assim, indicadores ambientais são estatísticas selecionadas que representam ou resumem alguns aspectos associados ao meio ambiente, como: recursos naturais e atividades humanas relacionadas (MMA, 2019).

Os indicadores devem ser capazes de facilitar a compreensão de fenômenos, bem como de adaptar as informações à linguagem e aos interesses locais dos tomadores de decisão (MAGALHÃES JUNIOR, 2007). Em áreas de riscos, como as encostas localizadas em Recife/PE, devem ser considerados indicadores que associem desde o uso e ocupação do solo até riscos de erosão.

Freitas *et al.* (2013) estudaram a seleção de indicadores ambientais para áreas de preservação permanente e observaram que o “uso da terra”, a “proximidade de vegetação nativa”, a “proximidade de áreas urbanas”, a “proximidade à malha viária” e o “risco de erosão” são o que mais podem impactar essas áreas.

À medida que a ocupação urbana se desenvolve em áreas de riscos ou de proteção, há um desrespeito à legislação e a locais sensíveis à preservação ambiental, visto que a proximidade urbana provoca pressão sobre a vegetação. E a retirada da vegetação aumenta o risco de encharcamento do solo e seu consequente deslizamento (FREITAS *et al.*, 2013).

Ficko e Bončina (2019), após analisarem a relação entre a cobertura vegetal, a preocupação ambiental e o PIB per capita nos 42 países mais desenvolvidos do mundo nos anos de 1990, 2000 e 2010, afirmaram que o crescimento econômico e preocupação ambiental pública possuem uma relação não-linear.

Segundo Yu, Yang e Li (2019), a densidade populacional pode ser percebida como uma variável de controle para gestão ambiental, já que áreas de aglomeração urbana demandam uma governança mais forte, por gerarem um agravamento da poluição e degradação ambiental.

Informações obtidas por Corominas *et al.* (2014) afirmam que o uso da terra é frequentemente considerado um fator estático em estudos de risco de escorregamentos. Assim, ferramentas de monitoramento contribuem com a gestão do planejamento urbano à medida que fornecem informações temporais, sejam estas passadas ou previsões futuras, das alterações sofridas nos diversos pontos territoriais.

## **2.4 Melhoramento e reforço de solos**

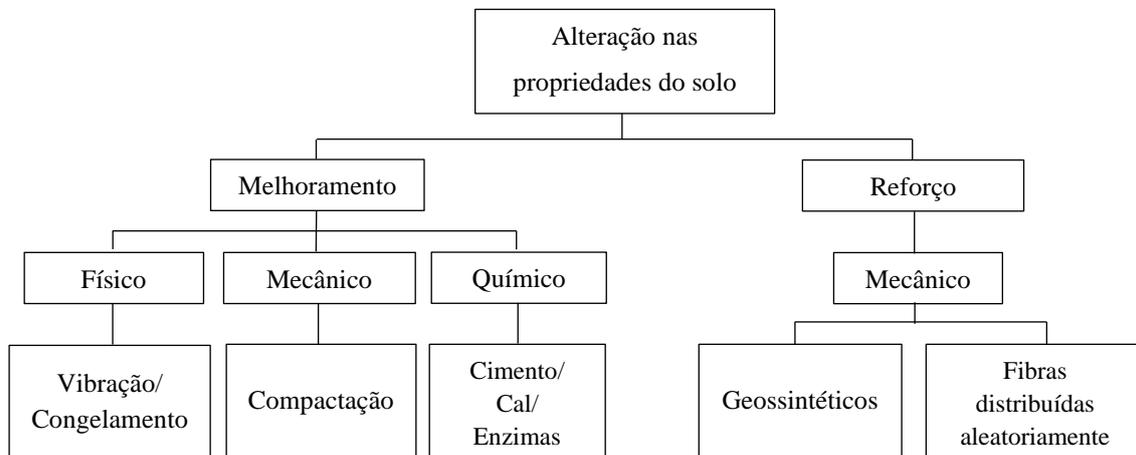
O solo é parte integrante e fundamental em obras de engenharia civil. Além de ser empregado como material de construção, possui a função de suportar as cargas oriundas das edificações as quais esteja sujeito. O solo possui características que variam entre as diversas localidades da terra, devido aos processos que lhe deram origem, aos processos de transporte e ao intemperismo.

No geral, os solos possuem pouca resistência a solicitações mecânicas e, por esse fato, diversas técnicas de melhoramentos têm sido investigadas. A busca pela melhoria dos solos é reportada às antigas civilizações, como a Babilônia e o Império chinês, os quais misturavam palha, madeira ou bambu ao solo (BRITO, 2002).

É importante destacar a diferença entre as técnicas “melhoramento” e “reforço” de solos. Segundo Silva (2007) a distinção está de acordo com o grau de alteração provocada nas

propriedades do solo, a quantidade e o tipo de material a ser adicionado ao solo. A Figura 2.3 apresenta o modelo esquemático para a aplicabilidade das técnicas supracitadas.

Figura 2.3 – Técnicas de melhoramento e reforço de solos



Fonte: Adaptado de Hejazi *et al.* (2012).

O melhoramento está associado a tratamentos do solo por processos químicos (adição de cal, cimento), físicos (estabilização granulométrica) ou mecânicos (compactação). Os tratamentos ainda podem ser relacionados em três grupos: (1) temporários – limitam-se ao período de construção; (2) permanentes – sem a adição de quaisquer materiais; e (3) permanentes – com adição de materiais ao solo natural (CRISTELO, 2001; BRANDI, 2004; GUEDES, 2013).

A escolha da melhor técnica de melhoramento está relacionada aos fatores ambientais, geológicos e hidrológicos da área em estudo, de modo que:

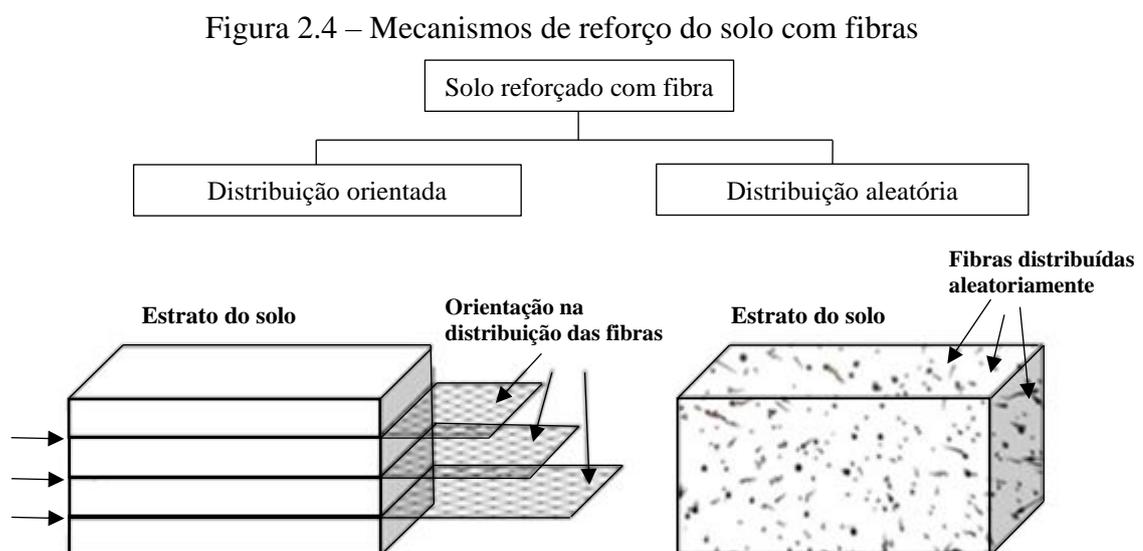
- em terras agrícolas, tem sido utilizado biocarvão para alterar as propriedades físicas e químicas do solo, devido o material ser um sólido estável, rico em carbono e durável. O biocarvão melhora a infiltração da água, a retenção de água no solo, a capacidade de troca iônica, estabiliza o pH e a retenção de nutrientes (NANSUBUGA *et al.*, 2015).
- a biocimentação por bactérias e reagentes que promovem a cimentação do solo é outro método que melhora o nível de pH e os nutrientes do solo. A quantidade de cimentação se relaciona com a sequência temporal de adição de nutrientes e crescimento de bactérias no solo. Com esse método a força do solo pode ser melhorada através da produção de partículas de solo por ligações de calcita (SARI, 2014).

- existem técnicas de melhoramento que são executadas no momento da escavação do terreno, permitindo a contenção e, conseqüentemente, minimização dos distúrbios do solo à superfície. Dentre essas técnicas podem ser citados: *Deep Soil Mixing* (DSM), *Compaction Grouting*, *Jet Grouting*, *Cutter Soil Mixing* (CSM) e painéis transversais de betão (BRÁS, 2009).

O reforço dos solos pode ser definido como uma técnica para melhorar as características físicas e o comportamento mecânico do solo, através da introdução de materiais compostos de propriedades desejadas (HEJAZI *et al.*, 2012). De acordo com Zhang *et al.* (2018), em relação ao ciclo de vida de um compósito, este aponta menor impacto a saúde humana, ao meio ambiente e consumo de recursos naturais em toda a avaliação do ciclo.

Atualmente, a técnica amplamente empregada no reforço de solos é a substituição, na qual se retira parte do solo e se introduz outros materiais, como as fibras e agregados reciclados. De acordo com Brito (2002) o objetivo da substituição de solo é melhorar à deformabilidade, a resistência ao corte e a permeabilidade.

As fibras quando utilizadas como material de substituição, são distribuídas aleatoriamente no solo, ou seja, não se faz necessário garantir que essas fibras estejam posicionadas horizontalmente ou em planos, como é o caso dos geossintéticos. A diferenciação dos mecanismos de reforço do solo, com geossintéticos e com fibras distribuídas aleatoriamente, é apresentada na Figura 2.4.



Fonte: Adaptado de Gowthaman *et al.* (2018).

## 2.5 Utilização de fibras na engenharia

A melhoria do solo com materiais sustentáveis é uma das vertentes que podem gerar impactos positivos, por meio da introdução de materiais não poluentes, e do reuso de resíduos. (MENEZES, 2018). Em geral, as fibras sintéticas e naturais podem ser usadas no reforço de solo. Com o foco crescente na manutenção do meio ambiente, é aconselhável o uso de fibras naturais com baixo potencial de biodegradação (ANGGRAINI *et al.*, 2016).

Assim, os compósitos reforçados com fibras naturais podem apresentar propriedades mecânicas comparáveis aos não compósitos aplicados com a mesma finalidade, mantendo a vantagem em relação ao reduzido consumo de energia (WU *et al.*, 2018). No entanto, Miller (2018) alerta que sozinhos os materiais, que estão sendo desenvolvidos como alternativas ambientalmente corretas, são incapazes de captar toda a extensão dos passivos ambientais.

Surge então o desafio de analisar o uso de compósitos no solo, do ponto de vista geotécnico (MENEZES, 2018), pois o principal objetivo do reforço da massa do solo é aumentar a sua estabilidade, isto é, capacidade de cisalhamento e capacidade de carga, reduzindo assim as deformações dos solos (HEJAZI *et al.*, 2012).

### 2.5.1 Fibras naturais

A necessidade de garantir a manutenibilidade do meio ambiente, ampliou as buscas no setor da construção civil pelo uso de matérias provenientes de fontes renováveis. Também, estão sendo produzidos materiais compósitos a partir da reutilização de resíduos de construção, bem como dos resíduos industriais e agrícolas, sendo estes as fibras naturais.

As fibras naturais podem ser extraídas de caules, folhas, sementes, frutos, madeira, palha de cereais e outros restos de materiais (GOWTHAMAN; NAKASHIMA; KAWASAKI, 2018). Atualmente, existem diversos estudos, os quais aplicam as fibras naturais na produção de compósitos, objetivando a melhora das propriedades dos materiais, como no reforço de materiais cimentícios (PAIVA *et al.*, 2016).

Muitos estudos concluem que as fibras recicladas de processos industriais e naturais são ótimas alternativas para inserção em concretos. Ehrenbring e Tutikian (2016) perceberam que as fibras originais, não processadas, possuem propriedades mais favoráveis em relação às recicladas,

entretanto dependendo da sua aplicação, as fibras recicladas podem substituir filamentos novos. As fibras naturais, ainda, podem substituir outros materiais, como o aço e os polímeros.

As fibras naturais também têm se mostrado uma ótima alternativa para o reforço de solos. Essa solução visa o aumento da estabilidade do solo, em relação a capacidade de cisalhamento e carga, e conseqüentemente, a redução de deformações proveniente de ações físicas e naturais (MENEZES, 2018; HEJAZI *et al.*, 2012).

As fibras de juta, coco e sisal, apresentadas da Figura 2.5, são materiais usualmente aplicados no reforço de solo em países como Índia, Malásia, Indonésia, Filipinas e Bangladesh. A aplicabilidade desses matéria está associada a disponibilidade local e ao baixo custo. As fibras, especialmente as de coco, podem ser incorporadas a todos os tipos de solo (ANGGRAINI *et al.*, 2015).

Figura 2.5 – Fibras naturais de juta (a), sisal (b) e coco verde (c)



Fonte: (a) Islam (2007), (b) G1 (2014) e (c) Carrazza, Silva e Ávila (2012).

Gowthaman, Nakashima e Kawasaki (2018) afirmam que a determinação e interpretação das propriedades físicas e químicas das fibras naturais são altamente necessárias à engenharia. Desse modo, a Tabela 2.1 apresenta os valores de densidade, módulo de elasticidade, resistência à tração, alongamento na ruptura e absorção de umidade para as fibras de coco verde, coco babaçu, juta e sisal relacionados ao reforço de solo.

Estudos desenvolvidos por Anggraini (2016) apresentam resultados obtidos com a incorporação de fibras de coco verde nos mais diversos tipos de solo. Na argila orgânica, as fibras incrementam a coesão entre as partículas do solo ao se comportarem como uma malha. Nas argilas houve a melhora da capacidade de carga e aumento da rigidez do solo, além de impedir a formação de rachadura no solo pela adesão do solo.

Tabela 2.1 – Propriedades físicas e mecânicas das fibras naturais de coco verde, coco babaçu, juta e sisal

<b>Fibra</b>	<b>Densidade (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Módulo de elasticidade (GPa)</b>	<b>Resistência à Tração (MPa)</b>	<b>Alongamento na ruptura (%)</b>	<b>Absorção de umidade (%)</b>
Coco verde <sup>1</sup>	1,39 - 1,52	3 – 6	100 - 225	12 - 51,4	130 - 180
Coco babaçu <sup>2</sup>	0,91	8,5	183,8	-	2
Juta <sup>1</sup>	1,3 - 1,45	10 – 30	393 - 860	1,5 - 1,8	12
Sisal <sup>1</sup>	0,7 - 1,33	9 – 20	400 - 700	3,64 - 13	56 - 230

Fonte: Adaptado de Gowthaman, Nakashima e Kawasaki (2018)<sup>1</sup> e Oliveira (2011)<sup>2</sup>.

Anggraini (2016), também observou que, no solo expansivo, as fibras diminuem a densidade seca máxima ao aumentar o teor de umidade ótima. Para uma argila de baixa plasticidade, também conhecido como solo preto da cultura de algodão, percebeu-se o aumento do teor de umidade ótima, a redução densidade seca máxima e o aumento da ductilidade do solo.

O solo preto considerado nos estudos de Anggraini (2016) são aqueles formados por rochas basálticas. Esse solo desenvolve rachaduras durante o período seco e incha quando há um aumento de umidade; é fértil e pode prender a água por um tempo longo, assim esta capacidade é usada para o cultivo do algodão (OZA; GUNDALIYA, 2013).

Dutta, Khatri e Gayathri (2012) verificaram o comportamento à compressão de argilas sob o efeito da adição de fibras de coco verde tratadas quimicamente. Para o autor, além das fibras aumentarem a resistência ao cisalhamento, elas podem ser vistas como um dos métodos mais econômicos para o reforço do solo.

De acordo com Wu *et al.* (2014) a adição de fibras de sisal limita-se a melhorar a capacidade de suporte do solo argiloso. Os autores verificaram que a coesão e o pico de tensão são obviamente melhorados após a mistura do solo com a fibra, sendo de 20% o percentual de incremento.

Em relação as fibras de juta, Yixian *et al.* (2016) verificaram que a adição das fibras tem um efeito importante nas propriedades físicas e mecânicas do solo expansivo, provocando a coesão do solo e Bordoloi *et al.* (2018) concluíram que as fibras aumentam a resistência do compósito preparado com solo siltoso, em todos os estados de compactação.

As fibras podem ser misturadas ao solo utilizando uma máquina de mistura mecânica ou manualmente. A grande preocupação com as técnicas na etapa de mistura está em garantir uma

boa homogeneização dos materiais, tanto em laboratório, quanto em campo (ANGGRAINI, 2016).

#### 2.5.1.1 Biodegradabilidade das fibras naturais

Geralmente, as fibras naturais contêm celulose, lignina e hemicelulose como composição principal. A lignina é responsável pela resistência e celulose/hemicelulose é responsável pela rigidez (ANGGRAINI *et al.*, 2016; GOWTHAMAN; NAKASHIMA; KAWASAKI, 2018). A análise da composição química das fibras naturais (Tabela 2.2) é fundamental, pois estas conferem às fibras a aplicabilidade como material de reforço em compósitos.

Tabela 2.2 – Propriedades químicas das fibras naturais de coco verde, coco babaçu, juta e sisal

Referências	Fibras	Lignina (%)	Celulose (%)	Hemicelulose (%)
Gowthaman, Nakashima e Kawasaki (2018)	Coco verde	40 - 45	32 - 43	21
Franco (2010)	Coco babaçu	17,8	62	13
Sood e Dwivedi (2017)	Juta	12 - 13	61 - 71,5	13,6 – 20,6
Sood e Dwivedi (2017)	Sisal	8 - 11	67 - 78	10 – 14, 22

O alto teor de lignina impede que as fibras sejam biodegradadas naturalmente. Desse modo, no reforço de solos é aconselhado a incorporação de fibras naturais com menores índices de biodegradabilidade (IB), razão entre o teor de celulose/hemicelulose e o teor de lignina (SANTOS, 2019), visto que o solo é um corpo natural condicionado à presença de organismos vivos que promovem a degradação de materiais (LEPSCH, 2010). Na Tabela 2.3 são apresentados os índices de biodegradabilidade para as fibras naturais de coco verde, coco babaçu, juta e sisal.

Tabela 2.3 – Índice de biodegradabilidade das fibras naturais de coco verde, coco babaçu, juta e sisal

Fibras	IB (%)
Coco verde <sup>1</sup>	1,4
Coco babaçu <sup>2</sup>	4,2
Juta <sup>3</sup>	6,7
Sisal <sup>3</sup>	8,9

Fonte: Adaptado de Gowthaman, Nakashima e Kawasaki (2018)<sup>1</sup>, Franco (2010)<sup>2</sup> e Sood e Dwivedi (2017)<sup>3</sup>.

Os menores índices de biodegradabilidade foram encontrados nas fibras de espécies de coco. Yixian *et al.* (2016) em sua perspectiva de aplicação da fibra de juta para reforço do solo,

observou que a utilização do material é dificultada pela natureza hidrofílica e biodegradabilidade da fibra natural.

Estudos têm sido conduzidos para testar o uso de aditivo químico para tratamento de superfície de fibras naturais, de modo a melhorar a interação interfacial de fibra/solo. Dutta *et al.* (2012) verificou que a resistência à compressão de argila reforçada com fibras de coco verde pode ser significativamente melhorada pelo tratamento químico com NaOH e CCl<sub>4</sub>. Foi percebido que solo reforçado com 1,6% de fibras tratadas com CCl<sub>4</sub> foi cerca de 3,84 vezes a da argila não reforçada.

#### 2.5.1.2 Teor e comprimento ideal para as fibras naturais

O teor de incorporação das fibras naturais no solo é uma variável que compromete seus benefícios como reforço. Yixian *et al.* (2016), Mujah, Rahman e Zain (2015) e Wei *et al.* (2018) concluíram que o melhor comportamento foi encontrado para as amostras que incorporam maiores teores de fibras de menores comprimentos.

Nas publicações consultadas, diferentes comprimentos e teores de fibras foram determinados para melhorar as propriedades físicas e mecânicas dos solos, conforme apresentado na Tabela 2.4. Para cada fibra (sisal, juta e coco verde), os dados foram subdivididos de acordo com o solo estudado.

A resistência à tração e o módulo de elasticidade do compósito aumentam com a adição de fibras até uma determinada quantidade, ou seja, até atingir o teor ótimo e diminuem depois disso (KAR; PRADHAN; NAIK, 2012b; VENKATACHALAM *et al.*, 2016).

Ressalta-se que na preparação de amostras com dosagens de fibras superiores a 2% é possível perceber uma tendência maior de aglomeração das fibras e a formação de planos fracos dentro da amostra (DASAKA; SUMESH, 2011; PICKERING; EFENDY; LE, 2016). E para conseguir compósitos fortes, são necessárias fibras bem separadas (LIU *et al.*, 2017).

Tabela 2.4 – Fibras naturais de coco verde, sisal e juta no reforço de solos

<b>Fibra</b>	<b>Solo</b>	<b>Teor de fibra (%)</b>	<b>Comp. das fibras (mm)</b>	<b>Resistência à compressão (kPa)</b>	<b>Resistência à tração (kPa)</b>	<b>Tensão de cisalhamento (kPa)</b>	<b>Referência</b>
Coco verde	Areia	1	25 – 50	-	-	-	Palanisamy e Kumar (2018)
Coco verde	Areia	0,2	30	-	-	43 (50 kPa) 90 (100 kPa) 138 (150 kPa)	Sridhar e Prathap Kumar (2017)
Coco verde	Areia	0,6	15	2260 <sup>(1)</sup>	170	-	Raj et al. (2017)
Coco verde	Areia	< 1	-	-	-	-	Nik Norsyahariati et al. (2016)
Coco verde	Areia	0,5 - 1	-	-	-	-	Tiwari e Sharma (2013)
Coco verde	Areia	1,5	5	-	-	-	Maity, Chattopadhyay e Mukherjee (2012)
Coco verde	Argila	0,5	20 – 30	770	108	-	Anggraini (2016)
Coco verde	Argila	0,5 - 1	-	-	-	-	Maliakal e Thiyyakkandi (2013)
Coco verde	Argila	0,5 - 2	15	-	-	-	Babu e Chouksey (2010)
Coco verde	Silte de baixa compressibilidade	1	14	-	-	-	Bordoloi et al. (2018)
Coco verde	Silte de baixa compressibilidade	1,5 - 2	15	470	-	-	Dasaka e Sumesh (2011)
Coco verde	Argila de baixa compressibilidade	0,8	15 – 25	190,82 - 200,86	-	-	Kar, Pradhan e Naik (2012a)
Coco verde	Argila de baixa compressibilidade	0,4 - 1,6	15	79,67 - 114,77	-	-	Dutta, Khatri e Gayathri (2012)

<b>Fibra</b>	<b>Solo</b>	<b>Teor de fibra (%)</b>	<b>Comp. das fibras (mm)</b>	<b>Resistência à compressão (kPa)</b>	<b>Resistência à tração (kPa)</b>	<b>Tensão de cisalhamento (kPa)</b>	<b>Referência</b>
Juta	Silte de baixa compressibilidade	1	14	-	-	-	Bordoloi et al. (2018)
Juta	Silte de baixa compressibilidade	0,75	20 – 40	100	-	-	Güllü e Khudir (2014)
Juta	Areia	1	60 – 70	-	-	-	Sujatha e Devi (2018)
Juta	Areia	1,5	5	-	-	-	Maity, Chattopadhyay e Mukherjee (2012)
Juta	Argila Siltosa	0,6	6	-	-	205 (100 kPa) 210 (200 kPa) 225 (300 kPa) 250 (400kPa)	Yixian et al. (2016)
Juta	Laterítico	0,75	35	450	-	-	Tanko, Ijimdiya e Osinubi (2018)
Juta	Solo expansivo	0,6	12 – 18	445	-	271 (300kPa)	Wang (2017)
Sisal	Argila Siltosa	0,1	70	3500 <sup>(1)</sup>	-	-	Gutiérrez-Orrego et al. (2017)
Sisal	Argila Siltosa	1	10	-	-	-	Wu et al. (2014b)
Sisal	Argila	0,6	10	410	8,3	245 (50 KPa) 490 (100 kPa) 637 (kPa)	Jiesheng, Juan e Lin (2014)
Sisal	Argila	0,3 - 0,5	30	-	-	-	Jamei, Villard e Guiras (2013)
Sisal	Argila de baixa compressibilidade	0,75	25	3500	-	-	Kafodya e Okonta (2018)

Legenda: (1) Estudos de reforço do solo com fibras naturais para produção de blocos de terra.

O teor de fibra de coco verde para reforço do solo arenoso variou entre 0,2% e 1,5% do peso seco da amostra, com comprimentos entre 5 mm e 50 mm. Percebeu-se que o menor teor esteve associado ao maior comprimento, exceto no estudo de Palanisamy e Kumar (2018).

Para argila reforçada com fibra de coco verde, o teor de incorporação ficou entre 0,5% e 2%, e o comprimento entre 15 mm e 30 mm. Em solos siltsos e argilosos com baixa compressibilidade, os teores variaram entre 1% e 2% e entre 0,4% e 1,6%, respectivamente, tendo sido testados comprimentos de 15 mm.

Nos estudos que utilizaram fibra de juta, menores quantidades de fibra foram incorporadas quando comparadas às fibras de coco. Para solos siltsos de baixa compressibilidade, o teor recomendado de fibra estava entre 0,75% e 1%, com comprimento variável de 14 mm a 40 mm.

Para areia reforçada com juta, o conteúdo variou de 1% a 1,5% e, segundo Maity et al. (2012), o comprimento ideal é de 5 mm. Para a argila siltosa de grão fino e o solo expansivo, o teor ideal de fibra de juta foi o mesmo, 6% do peso seco da amostra. No entanto, o solo expansivo requer um comprimento de fibra mais longo, no mínimo 12 mm, em comparação com o comprimento de 6 mm para argila siltosa de grão fino.

Nos estudos que analisaram a fibra de sisal, também foi observada a relação entre o conteúdo e o comprimento da fibra. Para o solo argiloso, quando o teor de fibra é de 1%, recomenda-se um comprimento de fibra de 10 mm, enquanto que para um teor de fibra de 0,1%, o comprimento deve ser de 70 mm. O mesmo é observado com argila reforçada com sisal, onde os teores de fibras de 0,3% a 0,5% estão correlacionados com um comprimento de 30 mm, enquanto que, para 6%, o comprimento recomendado é de 10 mm.

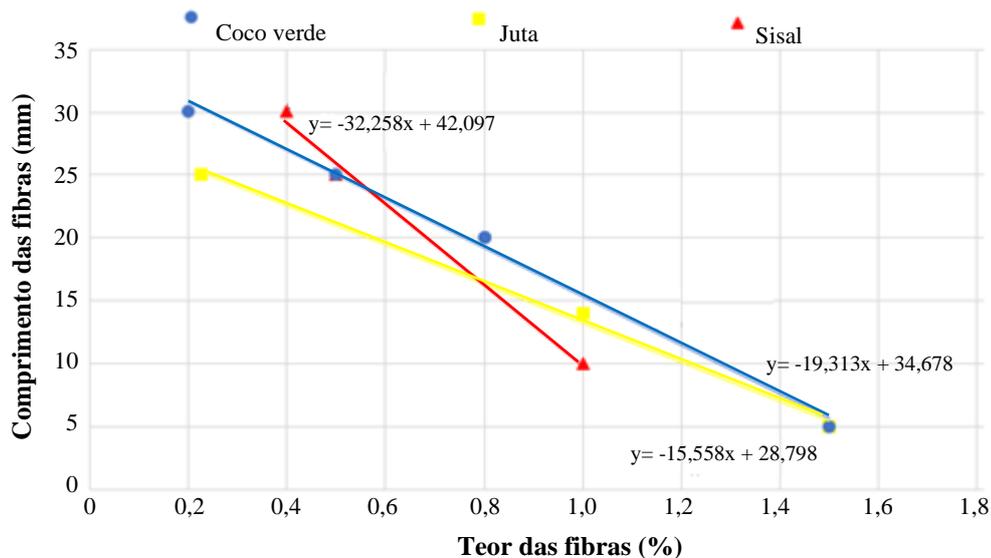
### *2.5.1.3 Correlação entre teor e comprimento ideal para as fibras naturais*

A relação entre o teor e o comprimento ideal das fibras naturais no reforço de solos pode ser interpretada a partir de uma análise estatística. A correlação linear é utilizada para designar a força que mantém unidos dois conjuntos de valores. Uma vez caracterizada esta relação, procura-se descrevê-la sob forma matemática, através de uma equação. A medida do grau, do sinal da correlação e a proporção de variação é feita pela análise dos valores da covariância (COV), do coeficiente de correlação ( $\rho$ ) e do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) entre as duas variáveis aleatórias (BERTOLO, 2012).

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) é uma ferramenta que avalia a qualidade do ajuste entre as variáveis observadas. O  $R^2$  varia entre 0 e 1, e quanto mais próximo o valor estiver de 1, mais explicativo será o modelo. Valores de  $\rho$  negativos, significam que o comportamento de uma variável está correlacionado com o comportamento oposto da outra variável (BERTOLO, 2012).

Santos *et al.* (2019) analisando a correlação entre as variáveis “teor” e “comprimento” de fibras naturais, encontraram uma forte correlação entre essas variáveis. Nessa análise, os autores consideram: fibras de coco verde com teores de 0,2% a 1,5% e comprimentos de 5 mm a 30 mm; fibras de sisal com teores de 0,4% a 1,0% e comprimentos de 10 mm a 30 mm; e fibras de juta com teores de 0,2% a 1,5% e comprimentos de 5 mm a 25 mm (Figura 2.6).

Figura 2.6 – Correlação entre teor e comprimento ideal para as fibras de coco verde, juta e sisal



Fonte: Santos *et al.* (2019).

Os valores de  $R^2$  obtidos por Santos *et al.* (2019) foram maiores que 0,9 (Tabela 2.5), o que justifica a forte correlação entre as variáveis analisadas. Também foi possível observar que quanto maior o teor de incorporação para as fibras menor será o seu comprimento.

Tabela 2.5 – Valores de covariância, coeficiente de correlação e do coeficiente de determinação para as variáveis “teor” e “comprimento” ideal de fibras

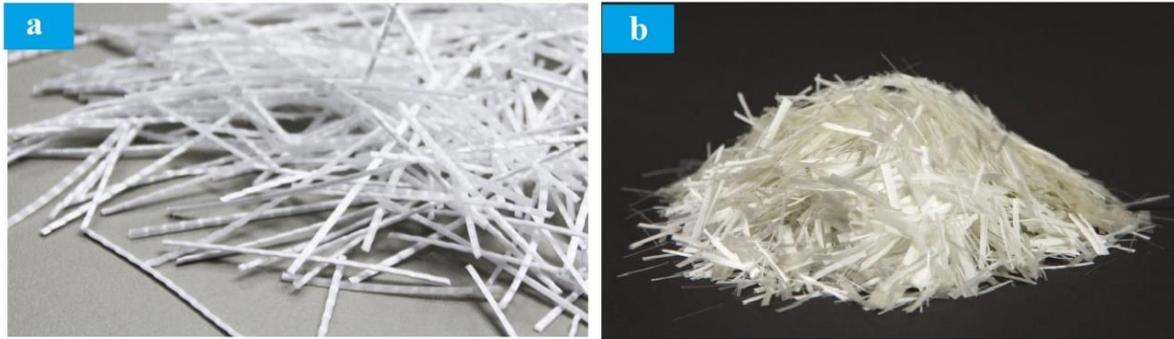
Fibras	COV	$\rho$	$R^2$
Coco verde	-2.28	-0.879	0.9933
Juta	-0.23	-0.668	0.9956
Sisal	-7.05	-0.93	0.9926

Fonte: Santos *et al.* (2019)

### 2.5.2 Fibras sintéticas

Dentre as fibras sintéticas usualmente conhecidas, podem ser citadas as de poliéster, acrílicas, polietileno e polipropileno (Figura 2.7a), além das fibras metálicas e inorgânicas de aço, mineral e vidro (Figura 2.7b) (SOUZA, 2010).

Figura 2.7 – Fibras sintéticas de polipropileno (a) e vidro (b).



Fonte: Tex Delta (2019)<sup>a</sup>; Silva (2015)<sup>b</sup>.

Podem ser definidas duas categorias para as fibras sintéticas: as classificadas como de alto e baixo módulo de elasticidade. Cabe ressaltar, que em geral, essas fibras são caracterizadas por possuírem alta resistência à tração (MENDOZA; AIRE; DÁVILA, 2011). Na Tabela 2.6 foram apresentados valores de densidade, módulo de elasticidade e resistência a tração para as fibras sintéticas de vidro e polipropileno.

Tabela 2.6 – Propriedades físicas e mecânicas das fibras sintéticas de vidro e polipropileno.

Fibra	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	Módulo de elasticidade (GPa)	Resistência à Tração (MPa)	Referência
Vidro	2,6	30	1350	Satyanarayana, Arizaga e Wypych (2009)
Polipropileno	0,91 - 0,97	4 - 15	300 - 500	Oliveira (2001)

As fibras de polipropileno, amplamente utilizadas em estudos, são oriundas de um material polimérico termoplástico, apresentam resistência aos álcalis, alta temperatura de fusão, baixo custo e sensibilidade à luz e ao fogo. O polipropileno é plástico leve, inerte quimicamente (SOUZA, 2010).

A partir de uma revisão sobre reforço de solos, Hejazi *et al.* (2012) encontram estudos que utilizaram fibras de polipropileno no melhoramento de solos e verificaram que as referidas fibras proporcionam redução volumétrica e melhorou a resistência a compressão nas argilas expansivas.

Oliveira *et al.* (2011) também investigaram a utilização de fibras de polipropileno, porém empregaram a fibra juntamente com resíduo de construção civil, para o melhoramento de solo. Os autores observaram que existe uma tendência de aumento de tensão cisalhante máxima do compósito e que quanto maior a porcentagem de incorporação de fibras maior é o seu ângulo de atrito e coesão.

Macedo (2013) ao analisar o desempenho mecânico da mistura agregado reciclado (AR)–solo–fibra de polipropileno para fins de pavimentação, concluiu que todas as misturas estudadas mostraram ganhos de resistência à compressão aos 7 e 28 dias superiores a 60%, sendo obtido os melhores resultados nas misturas com AR (50%) + Solo + Cimento + fibra (0,75%) e AR (75%) + Solo + Cimento + fibras (0,75%).

Acerca das fibras de poliéster, Hejazi *et al.* (2012) perceberam que a inclusão dessas fibras em areias finas melhora tanto o pico quanto a resistência final do solo. No entanto, a melhoria identificada está associada ao teor de incorporação das fibras, sendo sugerido os percentuais 1,5% a 2% de fibra em relação ao peso da amostra.

De acordo com Shahbazi *et al.* (2017) reforçar solos expansivo com escórias de aço, além de uma alternativa ambiental, apresenta-se como um material de baixo custo. Esse tipo de incremento pode representar para o solo reforçado ganhos de 111% na resistência à compressão.

A vantagem da viabilização do uso de fibras sintéticas oriundas de materiais plásticos é justificada pelo fato de os plásticos comporem os resíduos sólidos urbanos (RSU). Analisando o percentual de plásticos na composição dos RSU, verifica-se que o polietileno e polipropileno perfazem 60% do volume e, em menor proporção, estão o poliestireno, cloreto de polivinilo, polietileno tereftalato (PET), entre outros (CÓRDOBA, *et al.*, 2010).

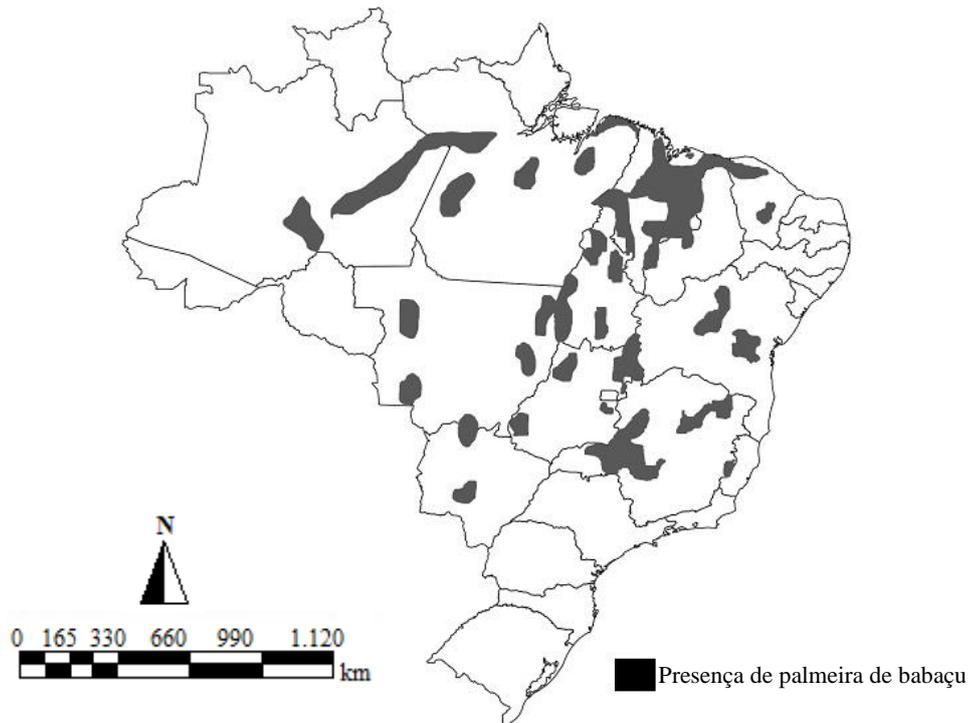
## **2.6 Coco babaçu**

O coco babaçu é um fruto que possui alto teor fibroso, porém pouco se conhece da utilização dessa fibra com fins industriais. Ferrari e Soler (2015) analisaram amostras secas da casca do coco babaçu e perceberam que o fruto possui uma quantidade de fibra que varia entre 59 a 61% em peso.

“O babaçu é um tipo de palmeira da família botânica Arecaceae, presente em diversos países da América Latina. No Brasil, seu uso é bastante difundido na Amazônia, na Mata Atlântica,

no Cerrado e na Caatinga” (CARRAZZA; SILVA; ÁVILA; 2012). Essa espécie vegetal pode ser encontrada nos estados do Maranhão, Piauí, Tocantins, Goiás, Mato Grosso, Amazonas, Pará, Rondônia, Ceará, Bahia e Minas Gerais, conforme Figura 2.8.

Figura 2.8 – Ocorrência de palmeira de babaçu no território brasileiro



Fonte: Adaptado de Silva (2008).

É sabido que após ações danosas, como as queimadas, ao solo fica empobrecido e acaba por perder a sua fertilidade, porém o crescimento do babaçu contradiz este senso comum. O babaçu é extremamente resistente e capaz de se regenerar rapidamente. Assim, após uma queimada, os competidores vegetais do babaçu são eliminados, proporcionando maior espaço para que as "pindovas" de babaçu - palmeirinhas novas - possam crescer e se expandir (ALBIERO *et al.*, 2007; SLUSZZ; MACHADO, 2006).

As características favoráveis ao crescimento da palmeira do babaçu podem ser encontradas em florestas úmidas e terras semiáridas, como é o caso da bacia amazônica e da região Nordeste do Brasil. O Maranhão e o Piauí são os estados com alta densidade de palmeiras, onde estima-se populações acima de 200 unidades da espécie por hectare (PAES-DE-SOUSA; BORRERO; DE SOUZA FILHO, 2017).

No estado do Maranhão, Paes-de-Sousa, Borrero e De Souza Filho (2017) afirmaram existir cerca de 10 milhões de hectares de babaçu na localidade em 2017, porém para Paulillo *et al.* (2007) havia uma área de 18 milhões de hectares em 2007. Diante disso, foi percebida a redução da cultura do babaçu em 8 milhões de hectares em um intervalo de 10 anos.

A perda de áreas de cultivo do babaçu pode ser compreendida pelo fato deste “ser tratado como um recurso marginal, permanecendo apenas como parte integrante dos sistemas tradicionais e de subsistência” (SLUSZZ; MACHADO, 2006). “O babaçu é o símbolo de luta de cerca de 400 mil mulheres organizadas pelo Movimento Interestadual das Quebradeiras de Coco Babaçu – MIQCB, que lutam pelo livre acesso ao recurso que está cada vez mais inacessível em áreas privadas” (CARRAZZA; SILVA; ÁVILA, 2012).

Quebradeiras de coco é a denominação dada as mulheres que vivem em função do extrativismo, desenvolvendo o ofício da quebra do coco para extração da amêndoa, como apresentado na Figura 2.9. De acordo com Sluszz e Machado (2006), a colheita do coco babaçu no Maranhão é realizada por residentes das regiões rurais, sendo este trabalho, praticamente, a única fonte de renda dessas pessoas. Estima-se que 300 mil famílias estão envolvidas nesse processo.

Figura 2.9 – Quebra do coco babaçu



Fonte: SEMATUR (2015).

### 2.6.1 Cadeia produtiva do babaçu

O babaçu, também conhecido como coco-de-macaco, encontra-se em formações de babaçuais, cobrindo 196 mil km<sup>2</sup> no território brasileiro (CERRATINGA, 2018). A palmeira do babaçu, Figura 2.10, pode atingir 20 m de altura, seu fruto pode ser colhido a partir dos 8 anos de crescimento, atingindo a plena produção aos 15 anos e possui, em média, 35 anos de vida (PAES-DE-SOUSA; BORRERO; DE SOUZA FILHO, 2017).

Figura 2.10 – Palmeira do babaçu



Fonte: Cerratinga (2018).

“Cada palmeira pode apresentar entre três a cinco longos cachos de flores amareladas. Cada cacho, por sua vez, pode produzir de 300 a 500 cocos” (CERRATINGA, 2018). No interior do coco pode haver de 1 a 8 amêndoas, como apresentado na Figura 2.11.

Figura 2.11 – Quantidade de amêndoas por espécies de coco babaçu

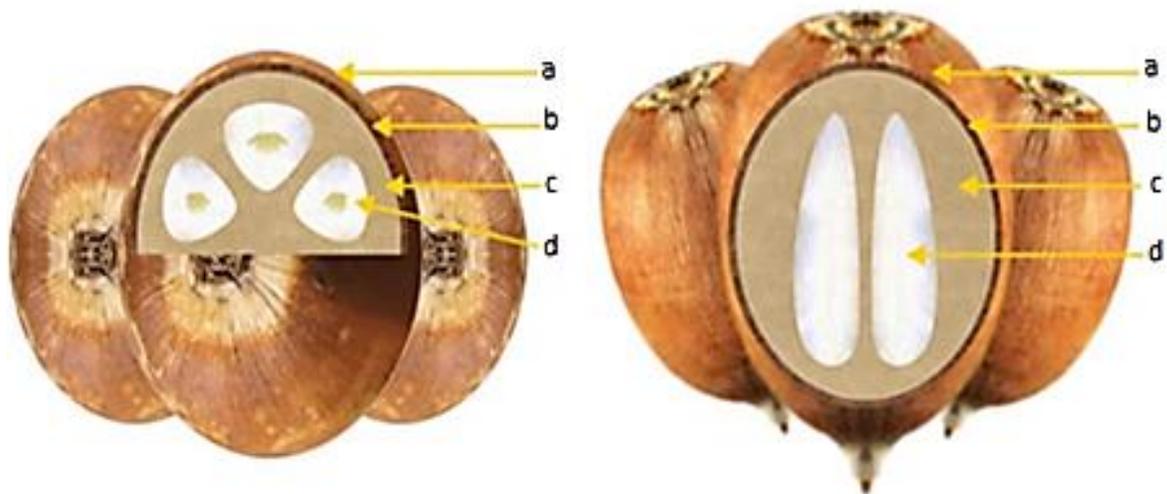


Fonte: Adaptado de Lorenzi, Noblick e Kahn (2010).

O fruto (o coco) da palmeira do babaçu pesa entre 90g e 280g, em média, e é dividido em camadas: epicarpo - a camada externa rija e fibrosa do coco babaçu, mesocarpo - a camada rica em amido e situa-se abaixo do epicarpo, endocarpo - a camada mais resistente e que envolve as amêndoas (Figura 2.12).

Existem diversas possibilidades para o aproveitamento do coco babaçu, por exemplo: o epicarpo pode ser empregado na produção de xaxim, estofados de bancos de carros, vasos, placas, queima em fornos caseiros e comerciais, bem como adubo orgânico; o mesocarpo tem aplicabilidade como material aglomerante; o endocarpo pode ser usado como combustível substituto da lenha, na agricultura e na indústria (farmacêutica, alimentícia, química, etc.); e as amêndoas servem como alimentação humana, além de aplicação na indústria e produção de cosméticos (CARRAZZA; SILVA; ÁVILA, 2012).

Figura 2.12 – Composição média de frutos de babaçu (% em peso)



(A) Seção transversal

(B) Seção longitudinal

a – epicarpo 12,6%

b – mesocarpo 20,4%

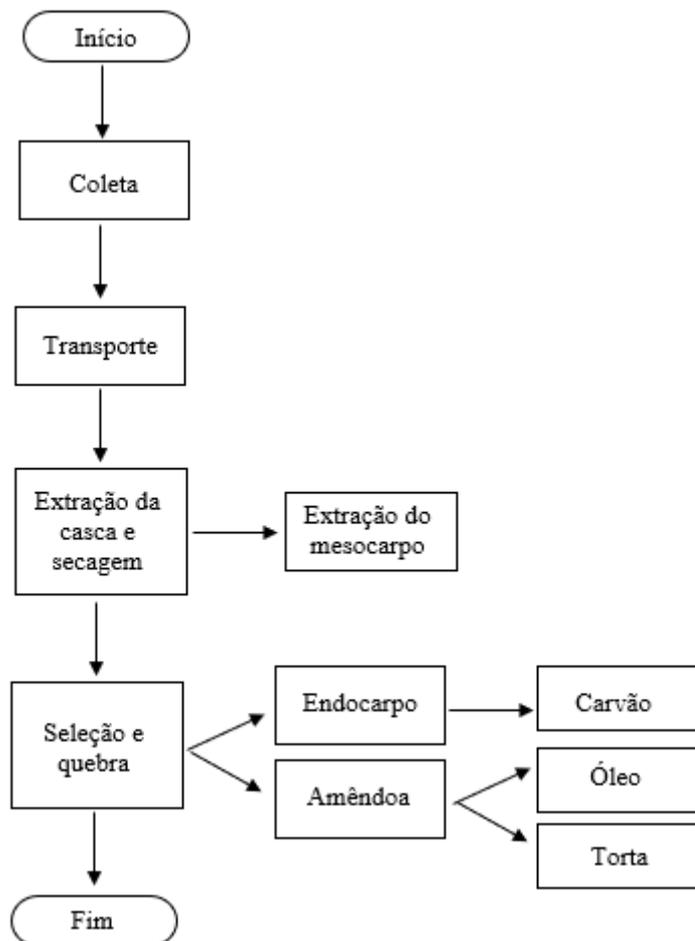
c – endocarpo 58,4%

d – amêndoa 8,7%

Fonte: Adaptado de Carrazza, Silva e Ávila (2012).

A cadeia produtiva do babaçu abrange a extração dos cachos frutíferos da palmeira e a etapa de processamento, na qual são gerados os diversos produtos oriundos do babaçu, como: carvão, etanol, metanol, celulose, farináceas, ácidos graxos e glicerina (IEPAGRO, 2010). Com a Figura 2.13 é possível compreender o fluxo produtivo do coco babaçu.

Figura 2.13 – Fluxo produtivo do coco babaçu



Fonte: Adaptado de IEPAGRO (2010).

É denominado como “torta” o subproduto da extração do óleo de babaçu via pressão mecânica. Já o “farelo” é o resultado da extração do óleo quando se utiliza solvente químico. A torta de babaçu vem sendo utilizada na alimentação animal, como complemento proteico para ruminantes (FERREIRA *et al.*, 2011).

“A cadeia produtiva do babaçu é uma das mais representativas do extrativismo vegetal no Brasil, em razão da área de abrangência da palmeira babaçu” (CARRAZZA; SILVA; ÁVILA, 2012), sendo o estado do Maranhão o responsável por 90% da produção nacional do Brasil, seguido por Piauí e Tocantins” (IEPAGRO, 2010).

De acordo com o Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento - MAPA (2012), os períodos para a coleta do babaçu para os estados do Maranhão, Piauí e Goiás são, respectivamente: julho – dezembro; agosto – dezembro; junho – dezembro.

Segundo Souza (2019), o preço da comercialização das amêndoas de babaçu é mais elevado no primeiro trimestre do ano, devido esse período possuir características chuvosas, o que impede o trabalho de coleta e quebra do coco, ensejando na queda da oferta do produto.

A partir dos levantamentos trimestrais realizados pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), para execução da Política de Garantia de Preços Mínimos para os Produtos da Sociobiodiversidade (PGPM-Bio), é possível consultar os valores médios pagos aos extrativistas de amêndoa de babaçu (Tabela 2.7).

Tabela 2.7 – Preço médio pago ao extrativista – amêndoa de babaçu (R\$/kg)

UF	1º Trimestre 2016	1º Trimestre 2017	1º Trimestre 2018	1º Trimestre 2019
CE	1,34	1,81	2,74	2,91
MA	1,34	1,52	1,65	1,99
PA	1,07	1,34	2,10	3,50
PI	1,62	1,93	2,44	2,06
TO	1,11	1,84	1,61	1,51

Fonte: CONAB (2019).

Borges (2018) verificou que em 2014 os preços médios praticados pelos produtores da amêndoa do babaçu variavam entre R\$ 0,98/kg e R\$ 1,68/kg para os estados do Ceará e Piauí, respectivamente. Para os estados citados, percebe-se uma valorização no valor comercial da amêndoa ao longo dos anos.

O extrativismo voltado ao babaçu tem como principal objetivo a produção do óleo a partir da amêndoa. Cabe ressaltar que, o babaçu é um recurso natural importante, tanto em termos nutricionais, quanto social e financeiro, podendo ser incluído o benefício ao solo, já que as raízes da palmeira ajudam a evitar a erosão.

Teixeira (2003) afirma que o único modelo industrial associado a palmeira do babaçu “foi a de extração do óleo, voltada para a obtenção de óleo Láurico com fins de exportação para fora dos estados produtores, quer seja para a indústria de alimentos ou para a de cosméticos”.

O processo de beneficiando da amêndoa pode gerar dois produtos distintos: o azeite (comestível), produzido pelas próprias quebradeiras e o óleo (não comestível), feito por

unidades de beneficiamento (SOUZA, 2018b). Os valores médios pagos aos produtores de azeite e óleo de babaçu, nos estados do Ceará - Maranhão - Piauí, podem ser observados na Tabela 2.8.

Tabela 2.8 – Preço médio pago ao produtor de azeite e óleo de babaçu (R\$/kg)

UF	Azeite de babaçu – comestível (R\$/kg)		Óleo de babaçu - não comestível (R\$/kg)	
	2017	2018	2017	2018
CE	22,06	22,17	-	-
MA	14,93	11,58	6,16	6,72
PI	11,88	11,50	3,81	2,94

Fonte: Adaptado de Souza (2018a; 2018b).

Dentre os produtos florestais não madeireiros comercializados no Brasil, a amêndoa do babaçu ocupa o segundo lugar nas vendas, gerando cerca de R\$ 150 milhões (CARRAZZA; SILVA; ÁVILA, 2012). Souza, Jesus e Gonzaga (2017) verificaram que, no decorrer dos anos, a produção de amêndoa do babaçu vem diminuindo em todo o país, de modo que entre os anos de 2011 a 2016, houve uma queda na produção de amêndoas próxima dos 40%.

A venda dos demais subprodutos do babaçu não é dimensionada, devido a descentralização da produção e por esta ser feita de modo informal. O Instituto de Estudos e Pesquisa do Agronegócio Rondoniense (IEPAGRO), em 2010, realizou um levantamento para estimar o valor comercial dos subprodutos do babaçu, e este pode ser observado na Tabela 2.9.

Tabela 2.9 – Mercado para os subprodutos do Babaçu

Produto	Produto similar	Local	Preço médio (R\$/kg)
Torta de Babaçu	Farelo de soja e de trigo	Rolim de Moura, Vilhena	0,90
Farelo do Mesocarpo	Milho triturado	Rolim de Moura, Vilhena	0,50
Carvão Vegetal	Carvão Madeirável	Porto Velho, Ariquemes	0,75

Fonte: Adaptado IEPAGRO (2010).

Para Souza (2018b) a razão do preço baixo da amêndoa e dos subprodutos do babaçu é a competição/concorrência com produtos tradicionalmente usados no país. E, ainda, a queda na produção justifica-se, dentre outros fatores, à saída de mão de obra da atividade extrativista (SOUZA, 2018a).

A recuperação e valorização dos produtos do babaçu dependem de ações voltadas à cadeia produtiva, ações de marketing, valorização da mão de obra e são necessárias mudanças ou incorporação de novas tecnologias para um aproveitamento integral desse recurso natural.

É importante considerar que, para qualquer modelo a ser adotado, este deve estar atrelado ao sistema social. “Uma vez que a única justificativa para a continuidade do modelo produtivo atual vem da necessidade de manter produtivas economicamente às pessoas que dependem diretamente da exploração do babaçu” (TEIXEIRA, 2003).

## 2.6.2 Impactos ambientais da exploração do babaçu

A extração de babaçu, em 2017, resultou em cerca de 68.421 toneladas de coco, dos quais são aproveitadas as amêndoas e descarta-se as demais partes (IBGE, 2017). A palmeira babaçu possui um grande potencial para seu aproveitamento integral, inclusive as folhas do babaçu podem ser utilizadas na confecção de utilitários, armação e cobertura de casas rústicas, comuns na região amazônica, e o estirpe da palmeira, a depender do seu estado de conservação, serve à marcenaria rústica e como adubo (SLUSZZ; MACHADO, 2006).

Nesse contexto, é percebido que a não utilização integral da palmeira do babaçu incorre em perdas financeiras e gera cerca de 98.631 mil toneladas de resíduo, de acordo com dados da produção de 2010 (DIAS *et al.*, 2012). Problema similar é encontrado na cadeia produtiva do coqueiro (*Cocos nucifera*), que após o consumo da água contida no coco, este é descartado como um lixo comum.

Da Silva (2014) afirma que “mesmo sabendo da gama de possibilidades no reaproveitamento do coco, os gestores e a sociedade, em geral, o descarta como sendo um problema ambiental”. Viabilizar alternativas para o aproveitamento do coco, como as suas fibras, pode proporcionar ganhos econômicos e ambientais ao introduzir novas alternativas de materiais ao mercado da construção civil (MENEZES, 2018).

No fluxo produtivo do babaçu foi apresentado que o endocarpo do coco é destinado à produção de carvão. Estima-se que são liberados cerca de 450-550 g de CO<sub>2</sub>, 450-650 g CO, 700 g de CH<sub>4</sub>, e 10-700 g de hidrocarbonetos não metanados, HCNM, N<sub>2</sub>O, NOX, SO<sub>2</sub> e partículas durante a produção de 1 kg de carvão (MARTINS, 2016).

Martins (2016) chama a atenção em relação as emissões de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, alguns HCNM e potencialmente N<sub>2</sub>O, pois estes são os gases que aceleram o efeito estufa; e que os gases NOX e SO<sub>2</sub> estão associados a chuvas ácidas e que as partículas estão associadas a doenças respiratórias.

## 2.7 Resíduos de construção civil (RCC)

A produção e o descarte de resíduos da construção civil têm recebido atenção crescente nas últimas décadas por parte de pesquisadores em todo o mundo, contando com importantes centros de pesquisas em países como China, Malásia, Austrália e Grécia (NAGALLI, 2014).

O descarte do RCC se constitui um problema mundial por induzirem uma série de impactos negativos. Esses resíduos podem causar a escassez de área valiosa e perda econômica (incluindo perda de recursos primários e consumo de combustível no transporte), sendo necessário o desenvolvimento de estudos que viabilizam a reutilização e ou reciclagem do RCC (YILMAZ; ERCIKDI; DEVECI, 2018; YUAN, 2017).

Os RCC consistem em concreto, tijolo residual, argamassa, cerâmica, metal, plástico, madeira e outros. No entanto, os tijolos de concreto, cerâmica e argamassa compõem cerca de 80% do volume total de RCC produzido (ÖZALP *et al.*, 2016). Os materiais que constituem o RCC, geralmente, são decorrentes da execução de serviços como de fundações, terraplenagem e demolição. Estima-se que o RCC compõe de 41% a 70% de todo o resíduo urbano (AMADEI *et al.*, 2012).

No Brasil ainda não existe uma metodologia padronizada, em âmbito técnico, para a estimativa da geração de RCC, segundo Gusmão (2008). No entanto Paz (2019), em um levantamento, verificou que diversas pesquisas utilizaram três fontes de informações para viabilizar essa estimativa, sendo: cálculo da geração de RCC pelo parâmetro de áreas licenciadas; transporte do resíduo por parte das empresas de coleta; e deposição em áreas destino final de RCC.

Holanda (2018) para o desenvolvimento de um módulo em um software de apoio à gestão municipal de resíduos de construção e demolição na Região Metropolitana do Recife (RMR), realizou um mapeamento de pontos de disposição irregular, conforme apresentado na Tabela 2.10.

A gestão dos resíduos, principalmente em países em desenvolvimento mostra-se ineficiente. A deposição irregular de RCC atrai o lançamento clandestino de resíduos de origem doméstica e industrial, acelerando a degradação ambiental e provocando impactos relativos à multiplicação de vetores como: mosquitos e outros insetos, animais peçonhentos, roedores (MMA, 2010).

Tabela 2.10 – Quantidade de pontos de deposição irregular de RCC mapeados na Região Metropolitana do Recife (RMR)

<b>Município</b>	<b>População (hab) 2015</b>	<b>Área urbanizada (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Pontos de deposição irregular</b>
Olinda	389.494	31,5	100
Recife	1.617.283	142,7	565
Camaragibe	154.054	50,1	124
Jaboatão dos Guararapes	686.122	85,1	153
Cabo de Santo Agostinho	200.546	26,7	85
São Lourenço da Mata	110.264	10,8	68

Fonte: Holanda (2018).

A criação/implantação de Unidades de Recebimento de Pequenos Volumes (URPVs) contribui com a minimização do descarte irregular dos resíduos. De modo que, a existência de URPVs facilitam o transporte dos resíduos pela comunidade próxima a unidade e a reduzem a despesa pública com a coleta e limpeza urbana (XIMENES, 2018).

O Decreto nº 27.399, de 27 de setembro de 2013, regulamentou o uso de áreas destinadas ao recebimento e transbordo de resíduos sólidos para o município do Recife/PE. Os pontos de recebimento de resíduos ou “Ecoestações”, a depender da estrutura, estariam aptas a receber desde RCC à resíduos domiciliares (RECIFE, 2013). Contudo, a partir dos dados de Holanda (2018), verifica-se que o resíduo ainda é depositado irregularmente no município.

A necessidade de promover a manutenção do equilíbrio ambiental torna-se mais relevante a cada dia, pois já são perceptíveis os reflexos do mau uso dos recursos naturais, da ocupação desordenada dos espaços etc., requerendo assim, a educação ambiental, a criação de processos produtivos que reduzam o desperdício de materiais e que o produto final seja durável e reutilizável.

### 2.7.1 Geração de resíduos da construção civil (RCC)

A cadeia produtiva da construção civil engloba os seguimentos da industrialização de materiais, o comércio e prestação de serviços, bem como máquinas e equipamentos. Dessa forma, a construção civil é o setor que está estrelado ao desenvolvimento econômico, pois impulsiona a maioria dos outros segmentos produtivos (VIEIRA, 2018).

Nos países industrializados, cerca de 40% dos recursos naturais extraídos são empregados para a infraestrutura. Por sua vez, o setor gera grande quantidade de resíduos devido os processos de construção e demolição (GRETTEL; HERNANDEZ, 2007; PORRAS; CORTÉS, 2014). Na

Tabela 2.11 são apresentados alguns países em diferentes regiões do globo terrestre com suas respectivas estimativas de população e de geração de RCC per capita por ano.

Tabela 2.11 – Estimativa de geração de RCC per capita anual em diversos países no mundo

País	Estimativa Populacional (2018)*	Geração de RCC (kg/hab.ano)
Itália	60.800.000	652 <sup>1</sup>
Holanda	16.900.000	1.000 <sup>1</sup>
Índia	1.353.014.094	392 <sup>1</sup>
China	1.394.102.196	732 <sup>1</sup>
EUA	327.908.413	1583 <sup>1</sup>
Canadá	37.885.861	245 <sup>1</sup>
Brasil	212.664.367	334 <sup>1</sup>
México	131.452.160	90 <sup>2</sup>
Colômbia	49.436.892	364 <sup>**3</sup>
Espanha	46.450.000	2.195 <sup>4</sup>
Finlândia	5.470.000	369 <sup>5</sup>
Alemanha	81.200.000	710 <sup>6</sup>
Reino Unido	64.880.000	500 <sup>6</sup>
Coreia do Sul	50.916.123	169 <sup>6</sup>

Legenda: (\*) Os dados de estimativa populacional encontram-se disponíveis em Eurostat (2018); (\*\*) Volume calculado somente entre as principais cidades da Colômbia.

Fonte: Akhtar e Sarmah (2018) <sup>1</sup>; Aguilar-Penagos, Gómez-Soberón e Rojas-Valencia (2017) <sup>2</sup>; Zapata-Ospina (2016) <sup>3</sup>; EC (2013) <sup>4</sup>; Kojo e Lilja (2011) <sup>5</sup>; Motta (2005) <sup>6</sup>.

Em 2013, cerca de 2.500 toneladas de resíduos foram geradas na União Europeia (UE). Desse total, 34% resultaram da construção e demolição (SILVA; DE BRITO; DHIR, 2016). Dentre os países da UE, a Espanha foi o maior gerador de RCC (EC, 2013).

A grande geração de RCC na Espanha está associada ao crescimento da indústria da construção espanhola, na última década (SPAIN, 2001; RIO MERINO *et al.*, 2010). Em algumas comunidades autônomas espanholas, a produção média de RCC foi de 790 kg/hab para o ano de 2005. Ainda, foi percebido uma discrepância na geração dos resíduos entre as diferentes cidades no país, tendo Castilla-La Mancha produzido 1.664 kg/hab e Ceuta 145 kg/hab.ano.

Em 2007, a nórdica Finlândia registou a geração de 2 milhões de toneladas de RCC, dos quais 16% haviam sido contabilizados na fase de construção e 57% na fase de demolição (KOJO; LILJA, 2011). A população finlandesa representa 1,08% da população total da UE, porém produz 369 kg/hab.ano de RCC. Percebe-se que a Finlândia gera anualmente elevado volume de resíduos quando comparado aos 500 kg/hab.ano gerados no Reino Unido, país com população cerca de 11 vezes maior.

A Ásia também enfrenta a problemática do RCC. Em Hong Kong estima-se que o RCC constitui 25% do montante de resíduos produzidos anualmente. A cidade é uma das duas regiões administrativas especiais da República Popular da China, considerada um dos principais centros financeiros internacionais e uma das áreas mais densamente povoadas do mundo (BIS, 2010; LIU; ZHANG, 2011; WON; CHENG, 2017).

Em Shenzhen, uma das mais importantes cidades de China, foram produzidos um volume total de 6 milhões de toneladas de RCC em 2005, aproximadamente, perfazendo um volume diário de 17.000 toneladas. Dentre o volume de resíduos, 60% é constituído de concreto, 14% - 16% argamassa, 8% - 11% tijolos e 5% metais (YUAN, 2012; SHCB, 2011).

Na Coreia do Sul, um país da Ásia Oriental, o percentual anual para a geração de RCC é estimado em 48%, em relação ao volume total de resíduos produzidos (WON; CHENG, 2017). Ainda, é possível verificar a geração média de 520 kg/hab.ano de resíduos de concreto (MOTTA, 2005).

A Índia registrou, em 2009, um montante de 530 milhões de toneladas de RCC, ocupando o segundo lugar entre os maiores geradores do mundo. No mesmo ano, na China ocupou o primeiro lugar no ranking, tendo gerado 1.020 milhões de toneladas de RCC. O terceiro lugar foi ocupado pelos EUA, com a geração de 519 milhões de toneladas (AKHTAR; SARMAH, 2018).

Em alguns países em desenvolvimento, os números de produção do RCC encontram-se indisponíveis (CHICA-OSORIO; BELTRÁN-MONTOYA, 2018). O México produz anualmente cerca de 12 milhões de resíduo, sendo calculado 90 kg/hab.ano (AGUILAR-PENAGOS; GÓMEZ-SOBERÓN; ROJAS-VALENCIA, 2017).

No Brasil, o RCC representa 50% da massa de resíduos sólidos urbanos, aproximadamente. Paz *et al.* (2013) estimaram, para os municípios brasileiros, a produção de RCC entre 301 a 546 kg/hab.ano, conforme Tabela 2.12. É importante destacar que, em 2007, o governo brasileiro criou o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), voltado à execução de grandes obras de infraestrutura social, urbana, logística e energética, o que pode ter elevado o volume de geração de RCC no país (BRASIL, 2007).

Dentre os 5.507 municípios brasileiros, 4.960 manejam os RCC incorretamente, causando problemas ambientais e a saúde pública (AMADEI *et al.*, 2012). Esse cenário faz alerta aos problemas do atual padrão de produção e consumo da população no país.

Tabela 2.12 – Estimativa de geração de RCC nos municípios brasileiros

<b>População (2013)</b>	<b>Nº de municípios</b>	<b>Geração RCC (kg/hab.ano)</b>	<b>Geração total de RCC (t/ano)</b>
Acima de 500 mil	37	449,7	18.168.411
De 201 a 500 mil	91	514,3	15.329.494
De 71 a 200 mil	275	301,1	9.512.223
De 21 a 70 mil	1128	312,7	3.323.611
Até 20 mil	4034	546,4	15.720.847
Total	5565	2124,2	62.054.586

Fonte: Adaptado de Paz *et al.* (2013).

Para Sachs (2007) esses padrões de produção e consumo não serão capazes de justiça social e Valdes-Vasquez e Klotz (2011) afirmam que os futuros engenheiros civis devem ser capazes de criar soluções sustentáveis que considerem as dimensões sociais da sustentabilidade.

Analisando os projetos construtivos, sejam urbanísticos ou arquitetônicos, desenvolvidos nos países latino americanos, se percebe a existência de parâmetros relacionados as três dimensões que formam o tripé da sustentabilidade (econômico, social e ambiental). No entanto, o país com melhor desempenho na dimensão social é o México e esse dado corrobora com os índices de geração de RCC per capita (CSILLAG, 2007).

A geração de RCC é um problema tanto ambiental, quanto social, pois afeta a qualidade de vida das comunidades, principalmente em nações desenvolvidas (CHICA-OSORIO; BELTRÁN-MONTOYA, 2018; SANTOS *et al.*, 2015b). Assim, é inevitável a busca por processos mais sustentáveis na indústria da construção, que além de visar a redução de gases de efeito estufa, também deve conservar os recursos naturais que são cruciais para o crescimento contínuo das sociedades (AKHTAR; SARMAH, 2018).

De acordo com a *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit* (GIZ), o desenvolvimento de sistemas de gestão de resíduos deve seguir a hierarquia dos resíduos, de modo que a prioridade nas ações deverá ser a redução da geração e, em seguida, a preparação para reutilização e reciclagem (GIZ, 2017).

### 2.7.2 Reaproveitamento dos resíduos da construção civil (RCC)

Para o desenvolvimento de projetos que incluam processos e procedimentos de reutilização e reciclagem de RCC, é necessário classificar o resíduo por tipo de material e quais suas potenciais utilizações. A classificação para os resíduos da construção deve estar baseada nas diretrizes da Resolução CONAMA nº 307 (2002) e suas alterações, de modo que:

- Classe A - São os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, oriundos de: construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e/ou edificações, componentes cerâmicos, argamassa e concreto;
- Classe B - São os resíduos recicláveis para outras destinações, como: plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeira e gesso;
- Classe C - São os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação;
- Classe D - São resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como: tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, e telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde.

Atualmente estão em vigor quatro normas, elaboradas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que tratam dos resíduos de construção civil (RCC). Na Tabela 2.13 estão dispostas as normas e com os seus respectivos objetivos.

Tabela 2.13 – Normas brasileiras sobre resíduos de construção civil (RCC)

<b>NBR</b>	<b>Objetivo</b>
15113:2004	Fixa os requisitos mínimos exigíveis para projeto, implantação e operação de aterros de resíduos sólidos da construção civil classe A e de resíduos inertes.
15114:2004	Fixa os requisitos mínimos exigíveis para projeto, implantação e operação de áreas de reciclagem de resíduos sólidos da construção civil classe A.
15115:2004	Estabelece os critérios para execução de camadas de reforço do subleito, sub-base e base de pavimentos, bem como camada de revestimento primário, com agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil, denominado agregado reciclado, em obras de pavimentação.
15116:2004	Estabelece os requisitos para o emprego de agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil.

Fonte: ABNT (2004).

Delmiro (2019) substituiu o agregado natural por resíduos plásticos na produção de concreto. Os resultados mostram que a substituição do agregado miúdo natural no concreto, nas proporções de 10% e 20% em massa do agregado, inferiu redução em todas as propriedades do concreto, no entanto a menor massa específica do agregado de plástico traz possibilidade de uso para obtenção de concretos mais leves, como para vedação de paredes.

Em relação a produção de concretos, Lima (2017) utilizou como agregado os resíduos provenientes de indústria de pré-fabricados de concreto. O autor observou que as propriedades do agregado reciclado eram semelhantes às do agregado natural e que a incorporação desse agregado reciclado contribuiu para aumento da absorção, do índice de vazios, e diminuição da massa específica e do módulo de elasticidade dos concretos produzidos com eles.

Para Santos *et al.* (2015b) a utilização de resíduos de construção tem estado restrita à produção de concretos magros, ou seja, sem fins estruturais. Os referidos autores estudaram a viabilidade de utilização de resíduos de construção como agregado graúdo em concretos estruturais e em conclusão, perceberam que os concretos que incorporavam os agregados reciclados apresentaram maiores valores de módulo de elasticidade em relação concreto convencional.

O uso de RCC em pavimentação foi investigado por Silva *et al.* (2015a), tendo identificado que: a utilização em camadas de reforço do subleito, sub-base e base da pavimentação, resultou em similaridades com as estruturas que utilizaram agregados convencionais; a troca do agregado graúdo natural, no concreto asfáltico, por agregado reciclado de RCC trouxe vantagens econômicas e a minimização de impactos socioambientais.

Yilmaz, Ercikdi e Deveci (2018) identificaram que os RCC também podem ser adequadamente empregados como material de aterro em indústrias de mineração, no qual os resíduos preenchem os vazios subterrâneos criados durante a produção de minério. Essa destinação amplia as possibilidades de reutilização do RCC, promovendo um descarte seguro e conseqüentemente, um gerenciamento ambientalmente correto.

Outra destinação ambientalmente correta para o RCC é a incorporação, em forma de agregado, junto a solos com baixa capacidade de suporte, produzindo um novo material (compósito), mais resistente e que sofre menores deformações. Essa técnica é conhecida como estabilização granulométrica de solos, por meio da aplicação de agregados (FERREIRA; THOMÉ, 2011).

Portela (2019) analisando um solo dispersivo, substitui a parcela do solo ligada à dispersividade por RCC e cal hidratada, esta em quantidades mínimas, com o intuito de viabilizar a estabilização desse solo. Em resultado, verificou que a mistura, em diferentes teores, proporciona ganhos de resistência de até 82% em relação ao solo natural e não compromete a erodibilidade.

Para uma areia argilosa com alta plasticidade, Silva (2018) concluiu que as misturas solo-agregado reciclado de RCC, nas proporções de 10, 20 e 30% são consideradas aceitáveis. A inserção do agregado reciclado proporcionou ao solo aumento da fração de areia, redução da porosidade, da plasticidade e da umidade ótima, aumento densidade seca máxima e melhoria das características para aplicação como subleito de pavimentos.

Santos Neto (2015) investigou a estabilização de um solo colapsivo com o acréscimo de RCC, em forma de agregado. Foi percebido que o compósito preparado com 30% de RCC, em relação ao peso total da amostra, reduziu significativamente as deformações volumétricas, elevando o grau de compactação e aumento da umidade do solo.

Nascimento (2019) avaliou as propriedades do agregado reciclado da construção civil no sistema de cobertura final de aterros sanitários. O autor concluiu que para uma argila de alta plasticidade, de uma encosta situada à Ilha de Itamaracá/PE, as misturas com 50% solo + 50% RCC (S50R50) e 70% solo + 30% RCC (S70R30) são eficientes para o devido fim, ainda podendo ser aproveitada como camada de superfície, camada de proteção, camada de barreira hidráulica e camada de fundação. Ainda, verificou-se que:

- à medida que o percentual de agregado reciclado incorporado no compósito aumentava, a sua densidade real diminuía. Isso se deve ao fato de que o RCC é constituído por grãos maiores e área específica menor do que a do solo, resultando em uma densidade menor;
- a adição do RCC no solo ocasiona uma diminuição no IP e que esse resultado é positivo, pois solos altamente plásticos são difíceis de compactar. Associando esse resultado a propriedade de expansão do solo, verifica-se que o RCC também provocou a redução na expansibilidade;
- durante o ensaio de resistência à compressão simples, as curvas (tensão x deformação) não apresentaram pico de tensão;

- que o RCC contribuiu para o aumento da resistência inicial das misturas, tendo pouca influência aos 120 dias;
- ocorre uma diminuição da coesão do solo com o acréscimo de RCC, de modo que a adição de 30% de RCC garante resistência de 0,885 Mpa, aos 28 dias, já com a adição de 50%, a resistência diminui e atinge valor de 0,670 Mpa.

### 3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O capítulo apresenta informações sobre os aspectos gerais da Ilha de Itamaracá/PE e da área da encosta investigada, como localização e dados históricos. Também são abordados dados sobre a geologia, solo, relevo, clima e hidrologia, além dos aspectos de uso e ocupação da Ilha de Itamaracá para melhor compreender a dinâmica da região.

#### 3.1 Aspectos gerais

A ilha de Itamaracá está situada no litoral norte do estado de Pernambuco/BR e é separada do continente pelo canal de Santa Cruz, um braço de mar que contorna a ilha, sobre o qual foi construída a ponte Presidente Getúlio Vargas (OTSUKA *et al.*, 2013).

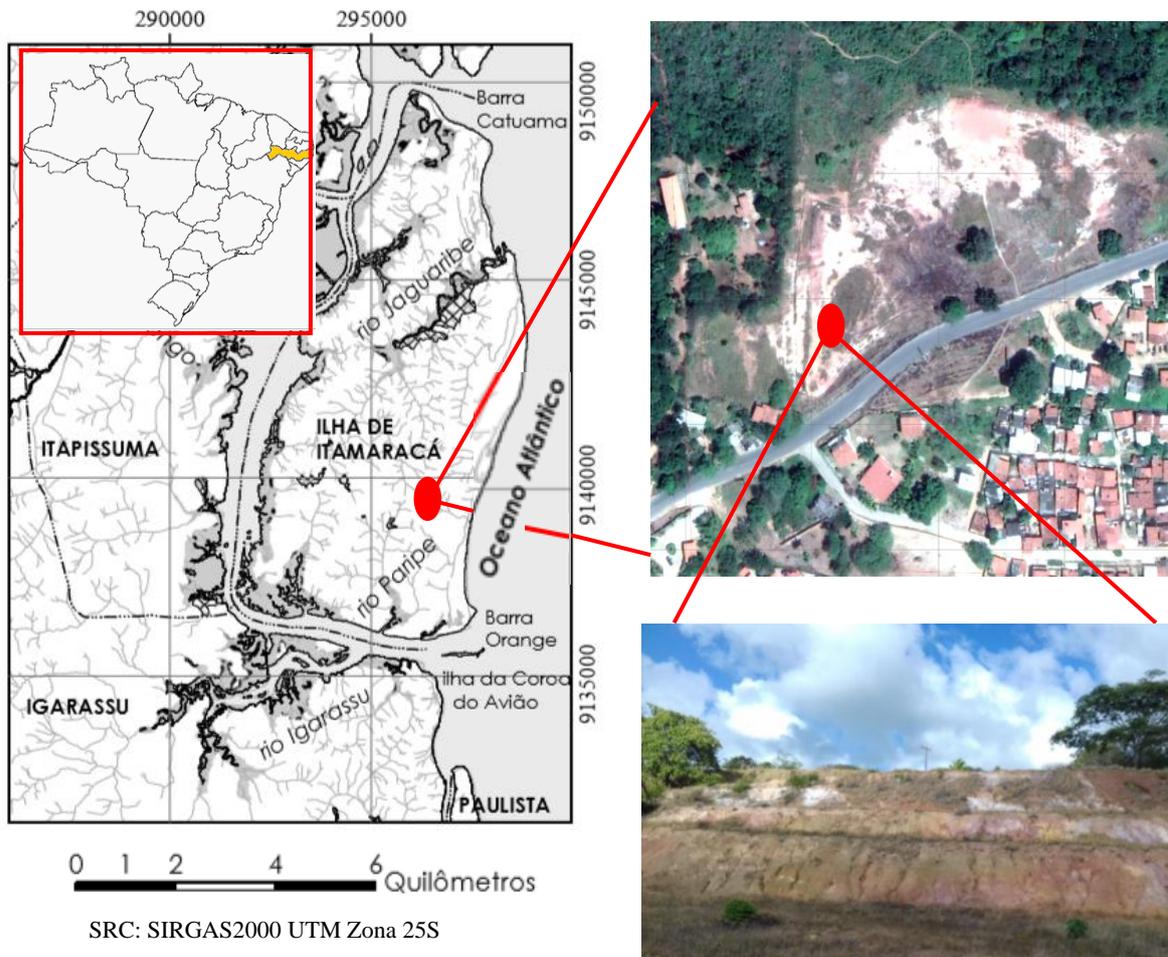
O nome “Itamaracá” é oriundo de povos indígenas e significa “pedra que canta”. Ao longo de sua história, Itamaracá também foi referida pelos nomes: Marília, Yilha-de-Fernão-Buquo, Tamanaquá, Itaparica-das-Flores, Vila Schkoppe e Capitania de Santa Cruz (IBGE, 2018).

A ilha constitui um município integrante da Região Metropolitana do Recife (RMR), estando distante 44 km da cidade do Recife. Limita-se ao norte com a cidade de Goiana, a oeste com o município de Itapissuma, ao sul com a cidade de Igarassu e ao leste com o Oceano Atlântico, e com altura aproximada de 40 metros em relação ao nível do mar (IBGE, 2018).

A encosta selecionada para estudo (Figura 3.1), possui cerca 14 metros de altura, área total de 95927 m<sup>2</sup> e se encontra as margens da rodovia PE-035, que atravessa os municípios de Igarassu, Mangabeira e Itapissuma. O posicionamento geográfico é referenciado sob as coordenadas 07° 46' 9" S e 34° 50' 28" W (IBGE, 2018).

A área era uma jazida de extração de saibro, este que é o produto de alteração de rochas quartzo-feldspáticas, como granitos e gnaisses. A jazida foi desativada por volta do ano de 1988. Atualmente, a encosta pertence a uma propriedade de uso particular.

Figura 3.1 – Localização da Ilha de Itamaracá/PE



Fonte: Elaborado a partir de De Moura e Candeias (2011).

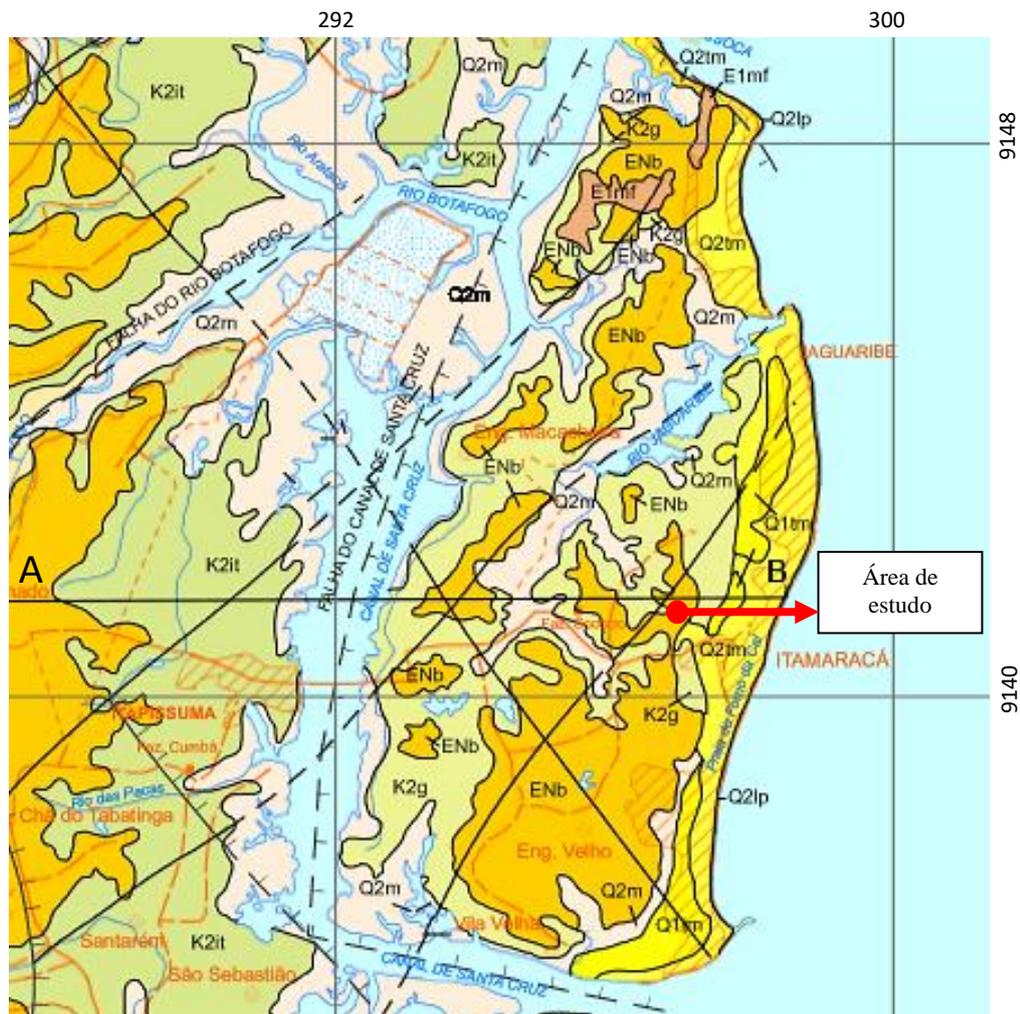
### 3.2 Aspectos físicos

A geologia, o solo, o relevo, o clima e a hidrologia são aspectos físicos de uma área ou região. De acordo com Portela (2019) estes aspectos podem ser determinantes no comportamento dos solos, sendo assim dada a necessidade de destaque as características mais preponderantes destes.

#### 3.2.1 Geologia

Segundo o CPRM (2005), município de Itamaracá está inserido na Província Borborema, constituindo-se pelos litotipos da Formação Gramame, do Grupo Barreiras e dos Depósitos Flúvio-marinhos, além de Maria Farinha (Figura 3.2). Na região mais próxima a costa, são observadas unidades geológicas que vão do mesozoico até unidades quaternárias (VARELA, 2010).

Figura 3.2 – Mapa geológico da Ilha de Itamaracá/PE



Q2m	Depósitos de mangue	E1mf	Formação Marinha Farinha
Q2tm	Terraços marinhos holocênicos	K2g	Formação Gramame
Q1tm	Terraços marinhos pleistocênicos	K2it	Formação Itamaracá
ENb	Grupo Barreiras		

2km  
SRC: WGS84 UTM Zona 25S

Fonte: Adaptado de CPRM (2014).

A Formação Gramame (biomicritos margosos), constituída por calcários detríticos de cinzentos a creme e com intercalações de níveis de argila, ocorre sotoposta à Formação Maria Farinha, esta que é composta por alternância de camadas de calcários, margas e folhelho (ALBERTÃO; MARTINS JUNIOR, 2006).

O Embasamento Cristalino, o conjunto de rochas ígneas ou metamórficas que compõe a porção externa da crosta continental, mostra que o município possui um conjunto de rochas gnáissicas,

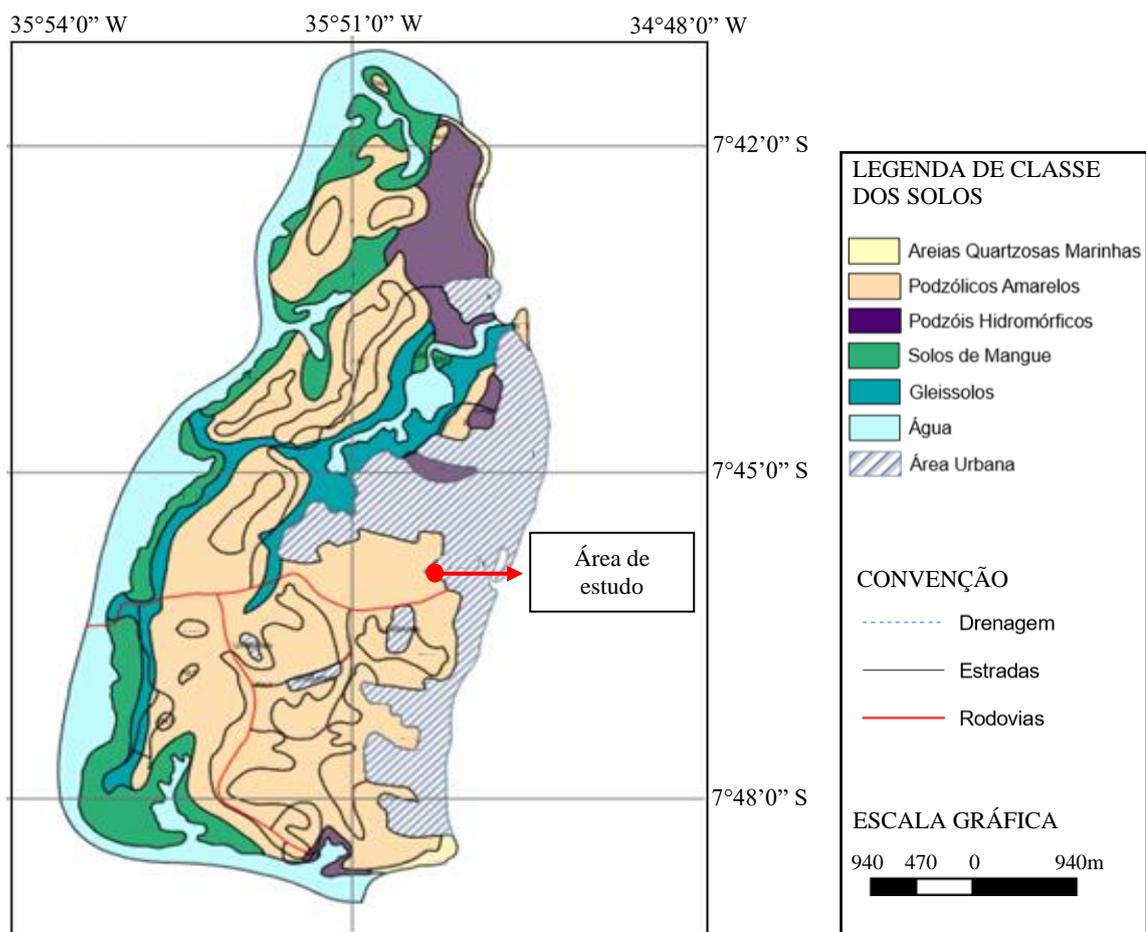
migmatitos, xistos gnaisses, metarcósios e ocasionalmente quartizitos e calcários (VARELA, 2010).

### 3.2.2 Solos

Nas áreas de dunas ocorrem as Areias Marinhas, com solos profundos, excessivamente drenados e de baixa fertilidade natural. Nas áreas posteriores às dunas ocorrem os Podzóis, medianamente profundos, mal drenados e de muito baixa fertilidade natural (CRPM, 2005).

Portela (2019) destacou que os solos da Ilha de Itamaracá são facilmente erodíveis, contando com a presença de areia quartzosa marinha, podzólico amarelo e solos de mangue. Destaca-se que o solo Podzólico Amarelo o tipo encontrado na área de estudo (Figura 3.3).

Figura 3.3 – Mapa de solos da Ilha de Itamaracá/PE



Fonte: Adaptado de EMBRAPA (2006).

O Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) passou por uma atualização em 2006 e com essa nova classificação os solos Podzólicos Amarelos foram integrados à classe dos

Argissolos, na qual encontram-se os solos constituídos por material mineral e que possuem a presença de argila de atividade baixa do horizonte B textural, ou seja, que se encontra imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte superficial (JACOMINE, 2009).

Os Argissolos podem ser encontrados em diversas localidades do Brasil, como na Zona da Mata Norte/PE (MACIEL NETTO *et al.*, 2000), no município de Paty do Alferes/RJ (VILLAREAL NÚÑEZ; AMARAL SOBRINHO; MAZUR, 2003), no município de Sena Madureira/AC (ARAUJO *et al.*, 2004), na mesorregião leste alagoano (LIMA NETO, 2010).

### 3.2.3 Relevo

A vegetação na Ilha de Itamaracá é basicamente formada por Florestas Perenifólia de Restinga, vegetação tipicamente associada à Mata Atlântica e sendo “restinga” um termo utilizado para definir diferentes formações vegetais na planície litorânea (AZEVEDO *et al.*, 2014; CRPM, 2005).

Contudo, o fragmento de Mata Atlântica na Ilha passou por processo de supressão decorrente da ocupação, restando manchas sobre a Formação Barreiras e Cristalino. A vegetação de praia, restingas e terraços litorâneos aparece nas áreas de terra firme e solo arenoso (VARELA, 2010).

Há o surgimento do agroecossistema coqueiral em substituição ao povoamento de restingas e terraços litorâneos (VARELA, 2010). Essa característica compreende a formação de uma vegetação secundária, aquela resultante dos processos naturais de sucessão, após supressão total ou parcial da vegetação primária por ações antrópicas ou causas naturais (CONAMA, 2007).

O município está inserido na unidade geoambiental da Baixada Litorânea, com relevo formado pelas Áreas Arenosas Litorâneas, onde se incluem as restingas, as dunas e os mangues. A formação manguezais é um ecossistema que sofre influência direta da maré e que ocupa 36,3 km<sup>2</sup> do território (DE MÉLO ALMEIDA *et al.*, 2011; CRPM, 2005).

São observadas algumas ocorrências de vegetação associada ao manguezal da espécie *Conocarpus erectus* (mangue de botão), no entanto as espécies de manguezais dominantes são *Rhizophora mangle* (mangue vermelho), *Laguncularia racemosa* (mangue branco) e *Avicennia shaueriana* (mangue preto) (DE MOURA; CANDEIAS, 2011).

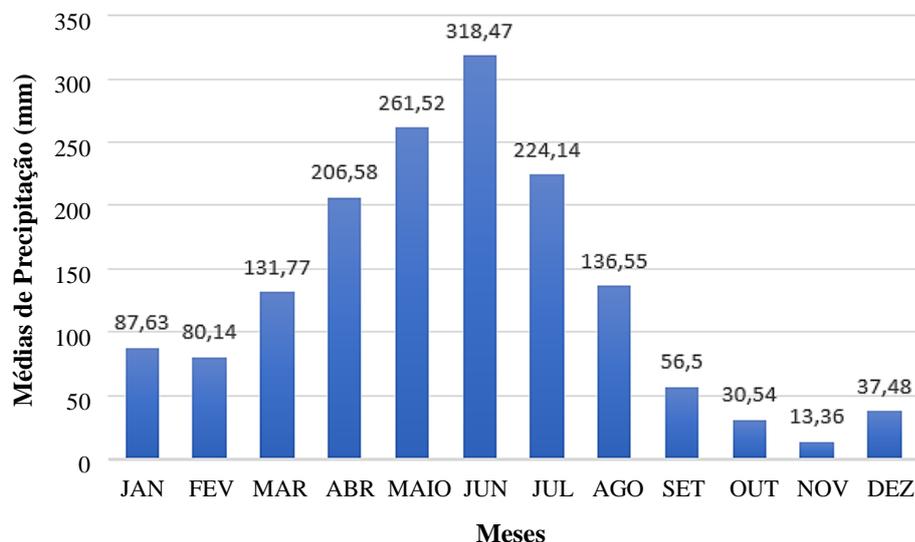
De acordo com De Mélo Almeida *et al.* (2011), a Planície Litorânea da Ilha de Itamaracá é composta por Terraços Marinheiros Superiores, Terraços Marinheiros Inferiores, Flechas Litorâneas, Baixios de Maré e Arrecifes.

### 3.2.4 Clima

O clima se apresenta como tropical quente e úmido, pela classificação *Koppen*, e a temperatura média anual varia entre 25°C e 27°C. Na Região Metropolitana do Recife (RMR), a qual Itamaracá faz parte, o período chuvoso se concentra entre os meses de março e julho, apresentando assim uma estação seca no verão e chuvosa no inverno (DA SILVA *et al.*, 2016). A taxa de evaporação é inferior à de precipitação, havendo um balanço hídrico anual sempre positivo (DA SILVA *et al.*, 2016). Em 2018, a média mensal de precipitação foi inferior a 90mm (APAC, 2019).

Em 2018, no mês de outubro, foi registrado na Ilha o maior índice de chuva acumulada da mesorregião, com o percentual em relação à média de 123% (APAC, 2019). Na Figura 3.4 são apresentadas as precipitações médias mensais do município, para o período de 2004 a 2019.

Figura 3.4 – Precipitações médias mensais do período de 2004 a 2019, Ilha de Itamaracá/PE



Fonte: APAC (2019).

### 3.2.5 Hidrologia

A ilha de Itamaracá está localizada na Bacia da Paraíba, uma bacia extensional da margem Atlântica brasileira (DE MÉLO ALMEIDA *et al.*, 2011). Em relação as marés que atuam na

costa da ilha, estas são do tipo mesomaré (2m - 4m), dominada por ondas, e sob a ação constante dos ventos alísios. A maré é semidiurna, alcançando variação de máxima na amplitude de 1,8m, representada por um ciclo de preamar e baixa-mar que se repete duas vezes ao dia (OLIVEIRA FILHO, 2011).

O canal de Santa Cruz está conectado ao Oceano Atlântico através da Barra de Catuama, ao Norte e da Barra Orange, ao sul. No canal desembocam os cursos d'água dos rios Catuama, Itapessoca, Arataca, Congo, Igarassu e Paripe, destacando-se o rio Botafogo por possuir uma extensão de aproximadamente 50 km e por ainda abastecer de água potável a RMR (OTSUKA *et al.*, 2013; DE MOURA; CANDEIAS, 2011).

De acordo com o Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2005), o município apresenta um alto potencial de água de superfície, com um sistema bastante intrincado de circulação de água, com frequentes contaminações pela água do mar. Ainda, possui um alto potencial de água subterrânea, geralmente com águas de boa qualidade encontradas a pouca profundidade.

Na Ilha de Itamaracá o principal corpo de acumulação d'água é a Lagoa Pai Tomé e na localidade também se encontra a nascente do sistema estuarino do rio Jaguaribe, este que é independente da rede hidrográfica da ilha, desaguando diretamente no Oceano Atlântico (DE MOURA; CANDEIAS, 2011; CPRM, 2005).

### **3.3 Aspectos de uso e ocupação**

A população residente na ilha, no ano 2000, foi estimada em 15.858 pessoas. Em 2010, estimou-se população de 21.884 pessoas e densidade demográfica de 328,17 hab/km<sup>2</sup>, tendo taxa média anual de crescimento de 3,27% (IBGE, 2011). A área da unidade territorial corresponde a 66,770 km<sup>2</sup> (IBGE, 2019).

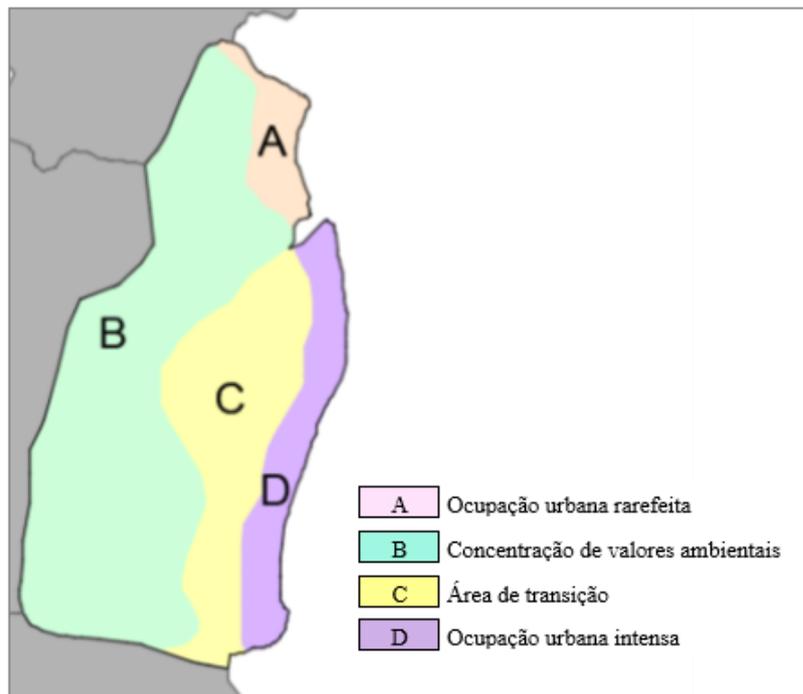
O município se apresenta como um dos menos populosos da RMR. A população itamaracaense é predominantemente urbana, com aproximadamente 78% (IBGE, 2017). Embora a configuração seja em grande parte urbana, a Ilha integra a Área de Proteção Ambiental (APA), esta que foi criada em 2008 para proteger o Complexo Estaurino do Canal de Santa Cruz e os remanescentes de Mata Atlântica (COUTINHO; SULAIMAN; CARBONE, 2018).

O Complexo Estaurino do Canal de Santa Cruz representa o maior e mais fértil ecossistema estuarino do litoral pernambucano, contando com uma diversidade de espécies e vegetação de

mangue, que recebe sedimentos fluviais de diversos rios, como o Igarassu, ao longo dos seus 22 km de extensão (COUTINHO; SULAIMAN; CARBONE, 2018).

A área mais urbanizada de Ilha de Itamaracá corresponde à orla marítima, com diferentes níveis de ocupação ao longo de sua extensão. Andrade (2018) analisou a ocupação no município e identificou a subdivisão de cinco áreas em conformidade com as características mais recorrentes, conforme Figura 3.5.

Figura 3.5 – Ocupação da Ilha de Itamaracá/PE



Fonte: Andrade (2018).

Andrade (2018) caracterizou a área “D” como de alta densidade construtiva, onde são observados diversos problemas de ordem urbanística e ambiental, ainda notou um processo de “favelização”, devido à fragilidade das normas incidentes. Na porção sul desta área foi verificada a concentração de edificações verticais, com expansão urbana desordenada e ocorrência de ocupação de espaços de praia de maneira irregular.

Andrade (2018) também identificou que as áreas “C” e “D” encontram-se os principais equipamentos turísticos do município, a Vila Velha e o Forte Orange, sendo que a área “C” é um espaço de transição entre a zona urbana e a rural, com ocupações mais dispersas e presença de chácaras e sítios, principalmente ao sul.

Carneiro *et al.* (2014) ao monitorarem cartograficamente a linha de costa ao sul da Ilha de Itamaracá, perceberam que ao norte do Forte Orange há retroação da linha de costa (erosão), com a presença de escarpas erosivas próxima ao Projeto Peixe Boi, e encontraram uma construção de contenção a erosão marinha, do tipo muro de arrimo.

“Além da perda do valor cênico, estas estruturas rígidas ainda aceleram o processo erosivo na área, em especial pela ocorrência de bares junto às dunas frontais, representando a retirada da vegetação e o nivelamento da superfície sedimentar” (CARNEIRO *et al.*, 2014).

Para Da Silva *et al.* (2016) os problemas ambientais do município estão atrelados a intensificação da erosão marinha, destruição dos atrativos paisagísticos e a perda da balneabilidade em algumas praias, tendo como fatores intensificadores a deposição de resíduos sólidos e o lançamento de efluentes (Figura 3.6).

Figura 3.6– Lançamento de efluentes na praia do Pilar, Ilha de Itamaracá/PE



Fonte: Andrade (2018).

A Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco (CPRH) realizou, em 2003, um Diagnóstico Sócio Ambiental do Litoral Norte de Pernambuco. Foi constatado que praias da Ilha de Itamaracá são, em geral, estreitas e apresentam vários trechos submetidos a processos de erosão acentuada ou forte.

“Os processos erosivos nestas áreas são resultantes da ocupação desordenada do solo, caracterizada pela construção de rampas, muros, escadas e demais elementos que podem alterar o equilíbrio hidrodinâmico e ocasionar o recuo acelerado da linha de costa” (ANDRADE, 2018).

O Serviço Geológico do Brasil (CPRM) levantou as áreas de risco em Itamaracá e encontrou riachos muito assoreados, sem mata ciliar e recebendo lixo e detritos despejados pela população em suas margens e leitos, além de edificações construídas irregularmente, impedido o escoamento superficial das águas (CPRM, 2015), conforme Figura 3.7.

Figura 3.7 – Casas construídas as margens de riachos, Ilha de Itamaracá/PE

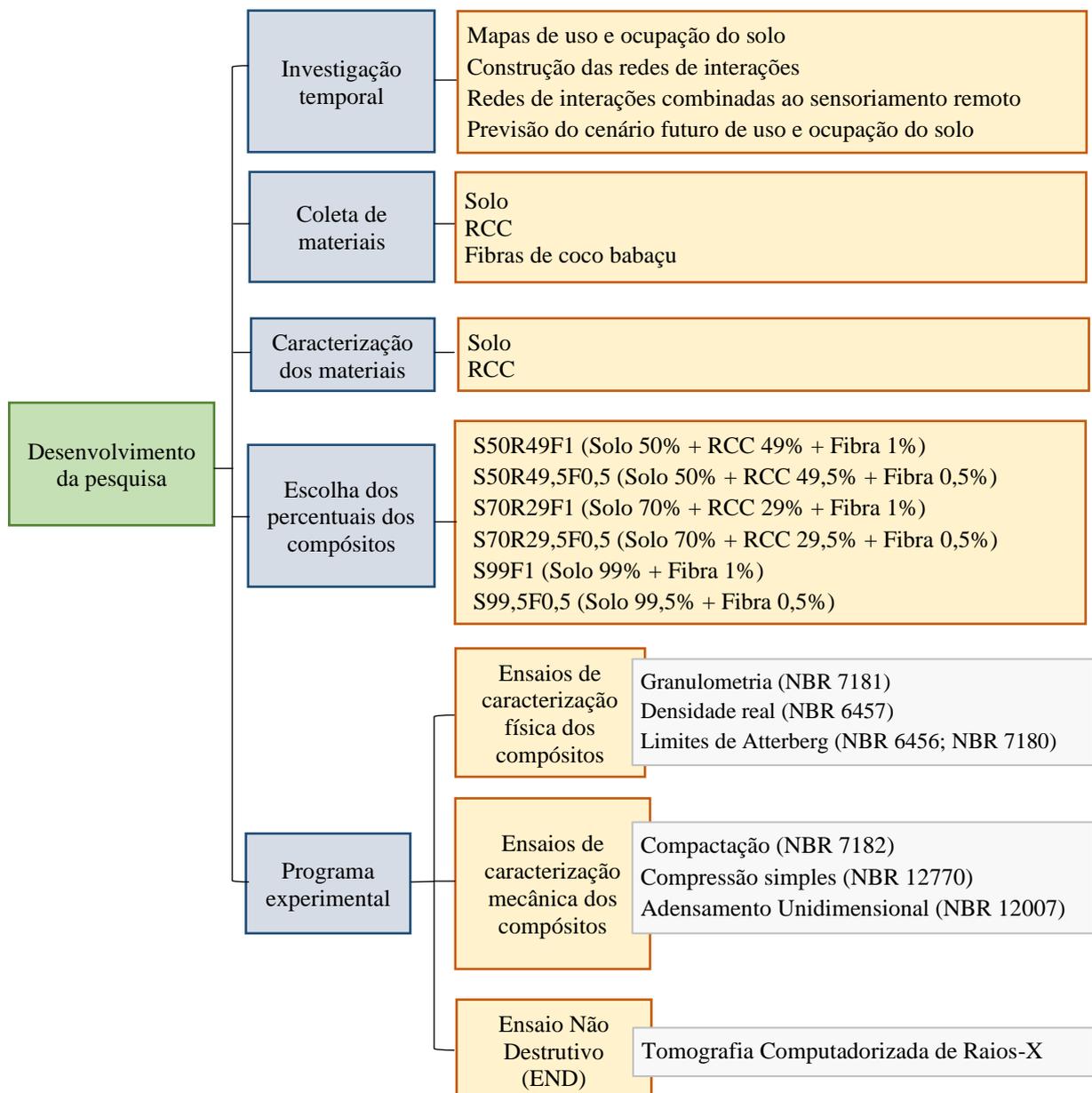


Fonte: CPMR (2015).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

As técnicas e metodologias para o desenvolvimento do estudo são abordadas neste capítulo. Inicialmente, foram apresentadas as informações sobre a investigação temporal do uso e ocupação do solo na área da encosta estudada. Em seguida, foram descritos os procedimentos para coleta dos materiais e as etapas do programa experimental (Figura 4.1).

Figura 4.1 – Desenvolvimento da pesquisa



Fonte: Acervo pessoal.

## 4.1 Investigação temporal

### 4.1.1 Mapas de uso e ocupação do solo

A compreensão dos processos e das ações antrópicas que impactaram na dinâmica da encosta estudada foi realizada por meio da análise de uso e ocupação do solo, ao longo dos últimos anos. Essa análise se baseou na fotointerpretação de imagens de satélite da área.

Imagens de satélite são obtidas através de levantamentos aerofotogramétricos, os quais criam um produto planialtimétrico de alta precisão, denominado ortofotocarta. Em seguida, essas imagens são georreferenciadas, ou seja, passam por um processo de referência geoespacial para seus locais adequados na Terra, em um sistema de coordenadas geoespaciais conhecido (HASTINGS; HILL, 2009).

A vetorização é a etapa subsequente ao georreferenciamento e consiste no desenho de vetores sobre a ortofotocarta, um processo baseado em coordenadas onde os recursos geográficos são representados como pontos, linhas e polígono, criando entidades geométricas. Cada recurso de ponto é representado como um único par de coordenadas, enquanto os recursos de linha e polígono são representados como listas ordenadas de vértices (ESRI, 2020).

No processo de vetorização, as feições da área são identificadas partir da percepção visual e a configuração dos parâmetros de vetorização, tais como cor e espessura das linhas, são criadas conforme o documento de Especificações Técnicas para Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV).

O ET-ADGV tem por finalidade definir as regras para a construção do atributo “geometria” de cada classe de objetos constantes no Modelo de Dados Geoespaciais da Secretaria do Patrimônio da União (SPU). As classes de objetos são organizados por categorias e representadas em um quadro que condensa as regras para a construção da geometria (SPU, 2016).

Ainda no processo de vetorização, é preciso observar se a linha a ser criada corresponde àquela formada pelos pontos médios da espessura da linha em formato matricial. Segundo a SPU (2016), quanto mais uniforme a espessura de uma linha matricial, mais preciso e melhor será o traçado, e daí a importância de ter uma imagem com boa qualidade.

Desse modo, as ortofotocartas da encosta foram adquiridas junto a Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco - CONDEPE/FIDEM, em escala de 1:10.000 e contendo curvas de nível com equidistância de 5 metros. Essas cartas foram dos anos de 1975, 1989, 1998 e 2018, devido a qualidade/nitidez destas.

A reconstituição (vetorização) das ortofotocartas foi realizada a partir do software livre QGIS, uma multiplataforma de sistema de informação geográfica (SIG). Esse software permite a visualização, edição e análise de dados georreferenciados, de modo que se pode criar mapas com várias camadas usando diferentes projeções.

#### 4.1.2 Construção das redes de interações

Os métodos de redes de interações permitem a identificação dos impactos ambientais diretos e indiretos e suas inter-relações. A principal vantagem do método é o fácil entendimento dos impactos secundários e a possibilidade de introdução de parâmetros estatísticos, permitindo que se estimem futuras modificações possíveis (FARINACCIO; GONSALEZ TESSLER, 2010; ARIZA; ARAÚJO NETO, 2010; CREMONEZ, 2014).

A partir das informações apresentadas na fundamentação teórica sobre solos erodíveis, impactos do uso e ocupação de solos e indicadores ambientais, se construiu um Diagrama de causa e efeito, também conhecido como Diagrama de Ishikawa, para representar as cadeias de impactos associados às suas possíveis causas.

Os indicadores ambientais foram adaptados à condição do local estudado, de modo que se contemplou: (1) tipos de ocupação; (2) adensamento populacional; (3) redução de áreas de domínio vegetal; (4) evidências de colapso da estrutura.

Após a construção das interações, foi necessário classificar o grau de risco de cada indicador ao favorecimento da degradação ambiental. A análise do risco se torna fundamental para o planejamento territorial e manutenção da participação ativa de atores políticos (RIOUSSET; FLACHSLAND; KOWARSCH, 2017). Assim, a classificação do grau de risco tomou como base os parâmetros descritos por Santos (2012), de modo que:

- Grau baixo - Não há risco evidente de acidentes geotécnicos ou hidráulicos localizados; não exige intervenções específicas de estabilização geotécnica, obedecendo apenas às recomendações de caráter geral;

- Grau médio - Há risco de acidentes geotécnicos ou hidráulicos de pequeno e médio porte;
- Grau alto - Há risco de acidentes geotécnicos ou hidráulicos graves.

Cabe ressaltar que foi realizada visita ao local de estudo para averiguar se as causas inseridas no Diagrama de causa e efeito realmente tinham relação com área e evidenciar visualmente efeitos de processos erosivos, como: patologias nas construções e feições características de comportamentos erosivos do solo (*pipins, sinkholes, ravinas* ou voçorocas).

#### 4.1.3 Rede de interações combinada ao sensoriamento remoto

A combinação do método de rede de interação com os recursos do sensoriamento remoto permite detectar aspectos temporais de uma região, a dinâmica do sistema e a importância relativa dos impactos ambientais. Desse modo, foram introduzidos parâmetros estatísticos aos dados de uso e ocupação do solo, que identificaram as alterações na encosta ao longo dos 43 anos observados (1975-2018), para então prever o cenário do local em 2028.

#### 4.1.4 Previsão do cenário futuro de uso e ocupação do solo

Foi realizada uma previsão para 2028 da evolução do uso e ocupação da encosta, a partir dos modelos matemáticos aritmético e geométrico. O método aritmético se baseia na suposição de que a população evolui constantemente e em linha reta, a qual pode ser prolongada até a data desejada, ou que ainda segue uma progressão aritmética, conforme Equações 1 e 2. O método geométrico se baseia na suposição do crescimento populacional em progressão geométrica, usando-se tábuas logarítmicas para este cálculo, como apresentado nas Equações 3 e 4 (Silva, 2011).

$$P = P_0 + r(T_x - T_0) \quad (1)$$

$$r = \left( \frac{P_2 - P_1}{T_2 - T_1} \right) \quad (2)$$

$$P = P_0 * \left[ (q)^{\wedge(T_x - T_0)} \right] \quad (3)$$

$$q = \left( \frac{P_2}{P_1} \right) \wedge \left( \frac{1}{T_2 - T_1} \right) \quad (4)$$

Onde  $P$  é a população para o ano estimado;  $P_0$  representa a população atual;  $r$  é o fator de crescimento anual para o método aritmético;  $T_x$  e  $T_0$  significam, respectivamente, o ano de projeção e o ano atual. Na determinação do fator de crescimento anual ( $r$ ),  $P_1$  representa a

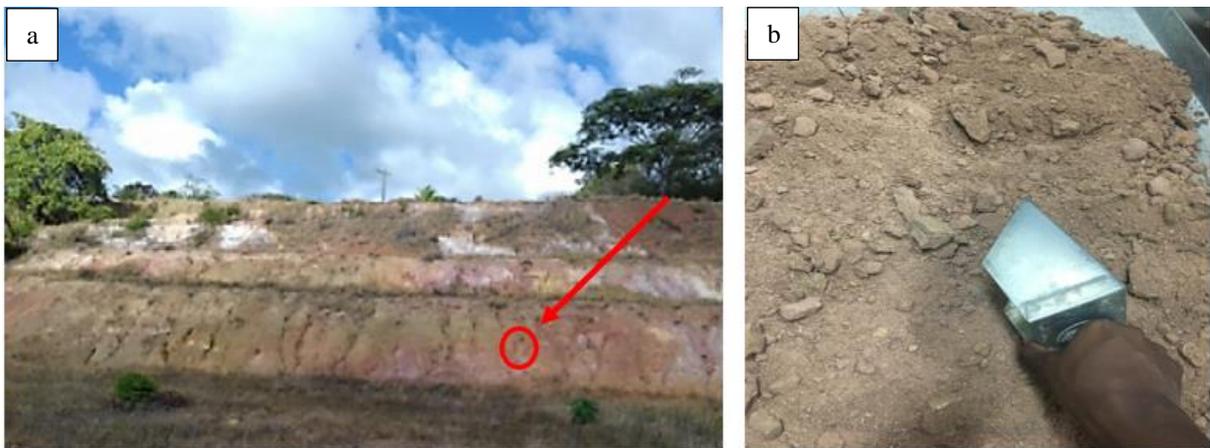
população do ano inicial,  $P_2$  a população do último censo,  $T_1$  e  $T_2$  significam o ano inicial e o ano do último censo, e  $q$  significa a taxa de crescimento anual para o método geométrico.

## 4.2 Coleta de materiais

### 4.2.1 Solo

O solo foi selecionado a partir dos dados de sondagens e granulometria de Bezerra (2018), o qual investigou nove diferentes pontos da encosta. Optou-se pelo solo com maior percentual de finos e o ponto de coleta está identificado na Figura 4.2.

Figura 4.2 – Localização do ponto de coleta (a) e aspecto do solo (b)



Fonte: Bezerra (2018)<sup>a</sup>; Acervo pessoal<sup>b</sup>.

Foram coletados, aproximadamente, 250 kg do solo a uma profundidade de 10 m (NASCIMENTO, 2019). A amostra foi transportada em sacos plásticos, a fim de garantir a umidade natural do solo, e armazenadas no Laboratório Avançado de Construção Civil (LACC) da Escola Politécnica de Pernambuco - UPE/POLI. No o presente estudo, utilizou-se 70 kg desse solo coletado.

### 4.2.2 RCC

O resíduo de construção civil (RCC) - (classe A), aproximadamente 100 kg, foi coletado junto a Ciclo Ambiental. Esta empresa está localizada em Camaragibe, Região Metropolitana de Recife - PE e possui como atividade a reciclagem de entulhos públicos e privados, através de britagem e separações balísticas dos resíduos (Figura 4.3), o que garante a preservação do meio

ambiente e sustentabilidade econômica do setor da construção civil (CICLO AMBIENTAL, 2018). O RCC foi armazenado no LACC – UPE/POLI.

Figura 4.3 - Processo de britagem e separação do RCC



Fonte: Acervo pessoal.

#### 4.2.3 Fibras de coco babaçu

A casca do coco foi coletada em uma cooperativa de quebradeiras de coco na cidade de Santa Inês – MA, cerca de 50 kg, e encaminhados ao Laboratório de Mecânica dos Solos (LMS) da Escola Politécnica de Pernambuco. Para beneficiamento das fibras foram utilizados instrumentos cortantes e, com estes, se aplicou movimentos repetidos, em um processo de raspagem. Desse modo foi possível desprender resíduos, deixando as fibras aparentes. Em seguida as fibras foram desfiadas, conforme Figura 4.4.

A medição do diâmetro das fibras (desfiadas) foi realizada com o auxílio de um paquímetro e, devido as fibras serem de origem natural, foram encontradas variações entre 2mm a 4mm.

Figura 4.4 - Processo de beneficiamento das fibras de coco babaçu



Fonte: Acervo pessoal.

### 4.3 Caracterização do solo e do RCC

O solo e o RCC utilizados nesse estudo foram caracterizados por Nascimento (2019). A partir dos ensaios de caracterização física, verificou-se que o solo é uma argila inorgânica de alta plasticidade e o RCC foi classificado como uma areia bem graduada. As características físicas do solo e do RCC se encontram descritas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Caracterização física do solo e do RCC

Características	Solo	RCC
Argila (%)	54	5
Silte (%)	22	9
Areia (%)	24	77
Pedregulho (%)	0	9
Limite de liquidez (%)	53.28	NL
Limite de plasticidade (%)	21.75	NP
Índice de plasticidade (%)	31.53	-
Densidade real (g/cm <sup>3</sup> )	2.73	2.61

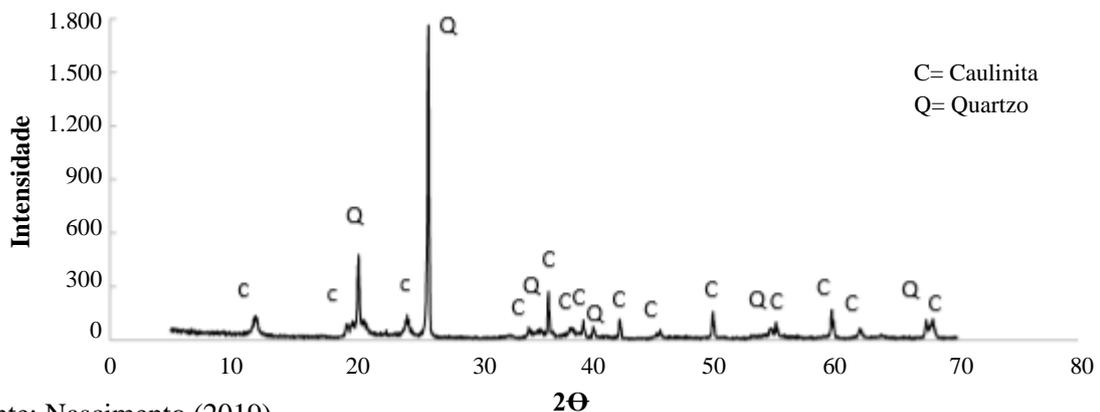
Legenda: NL – Não líquido; NP – Não plástico.

Fonte: Nascimento (2019).

Nascimento (2019) verificou a impossibilidade de determinar o diâmetro efetivo das partículas do solo, ou seja, não foi possível identificar o diâmetro na peneira para a qual 10% das partículas do material ficaram retidos. No entanto, o RCC apresentou coeficiente de uniformidade (Cu) de 24,00 e coeficiente de curvatura (Cc) de 2,67.

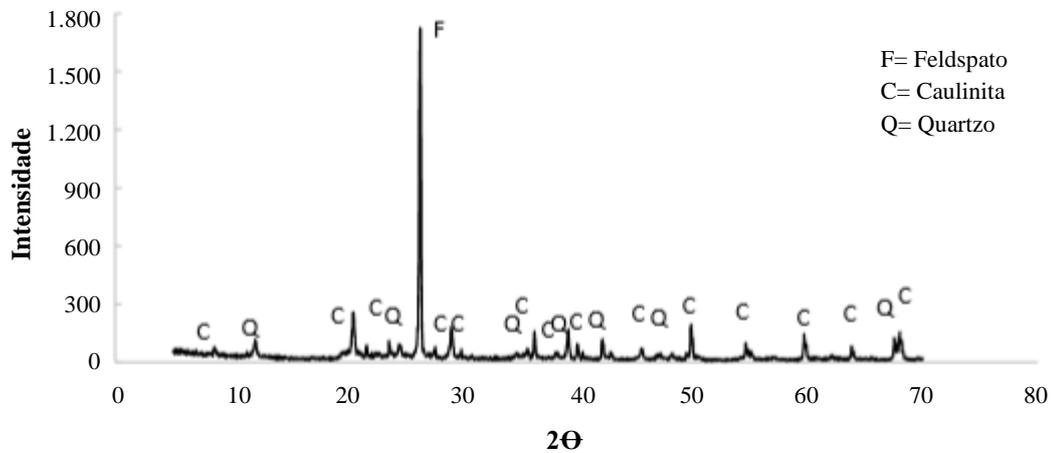
A análise mineralógica por difração de raios-x identificou os minerais presentes no solo e no RCC, sendo o quartzo o mineral de maior intensidade para o solo (Figura 4.5) e o feldspato para o RCC (Figura 4.6).

Figura 4.5 – Difratoograma de raios-x do solo



Fonte: Nascimento (2019).

Figura 4.6 – Difratoograma de raios-x do RCC



Fonte: Nascimento (2019).

No solo, a presença de quartzo está relacionada a sua difícil intemperização (SCARIOT, 2018). Já no RCC, a presença de quartzo e feldspato é justificada devido a esses minerais serem abundantes nas rochas naturais e por serem utilizados como matéria prima para diversos produtos na construção civil, como no fabrico de cerâmicas, areia e agregados finos (Da Silva *et al.*, 2018).

A análise química total do solo, feita por meio da fluorescência de raios-x, mostrou que o material é predominantemente constituído por 63,18% de sílica (SiO<sub>2</sub>), 20,40 % de óxido de alumínio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) e 7,96 % de óxido de ferro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), substâncias que perfazem um total de 91,54% dos componentes desse solo (NASCIMENTO, 2019).

A presença de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> em solos indicam ação de intemperismo. De acordo com Rocha (2018) expressivas quantidades desses compostos químicos conferem ao solo alto grau de cimentação, interferindo diretamente no ganho de resistência. A cimentação é uma capacidade atribuída aos silicatos de cálcio estáveis que se formam quando pozolanas, pulverizadas e na presença de água, reagem com o hidróxido de cálcio (Ca(OH)<sub>2</sub>) do material (NEVILLE, 1995).

De acordo com a American Society for Testing and Materials (ASTM) algumas argilas cumprem com os requisitos aplicáveis à pozolanas naturais de classe N, nas quais as substâncias como a sílica, óxido de ferro e óxido de alumínio somam 70% dos componentes do solo (ASTM, 2019). Desse modo, verifica-se que o solo da encosta é uma pozolana natural.

Em relação a expansibilidade do solo, Nascimento (2019) concluiu que o material apresentava mau comportamento frente à erosão. Segundo Simões de Oliveira, Jesus e Miranda (2006) a expansão é refletida na variação volumétrica do solo durante o umedecimento, o que provoca levantamento ou deslocamento das estruturas que estejam apoiadas sobre ele.

#### 4.4 Escolha dos percentuais dos compósitos

Os percentuais de solo e RCC utilizados nos compósitos estão em conformidade com os melhores resultados obtidos por Nascimento (2019), sendo: S50R50 (50% solo + 50% RCC) e S70R30 (70% solo + 30% RCC). A nomenclatura para os compósitos encontra-se disponível na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Nomenclatura dos compósitos

Nomenclatura	Compósitos
S50R49F1	Solo (50%) + RCC (49%) + Fibra de babaçu (1%)
S50R49,5F0,5	Solo (50%) + RCC (49,5%) + Fibra de babaçu (0,5%)
S70R29F1	Solo (70%) + RCC (29%) + Fibra de babaçu (1%)
S70R29,5F0,5	Solo (70%) + RCC (29,5%) + Fibra de babaçu (0,5%)
S99F1	Solo (99%) + Fibra de babaçu (1%)
S99,5F0,5	Solo (99,5%) + Fibra de babaçu (0,5%)

Fonte: Acervo pessoal.

Para determinação do teor e comprimento das fibras de babaçu, consultou-se a Tabela 2.1 (referencial teórico). Desse modo, se definiu os teores de incorporação em 0,5% e 1,0% e o comprimento de 30 mm para as fibras.

#### 4.5 Programa experimental

Para análise das propriedades físicas e mecânicas dos compósitos de solo erodível, RCC e fibras de coco babaçu, foi necessária a realização de ensaios normatizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, além da utilização de técnicas de Ensaios Não Destrutivos (END).

Os ensaios de caracterização física e mecânica foram realizados no laboratório de Mecânica dos Solos (LMS) da Escola Politécnica de Pernambuco - UPE/POLI, no entanto os rompimentos dos corpos de prova, do ensaio de compressão simples, ocorreram no Laboratório

de Mecânica dos Solos da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE. Os ensaios de adensamento unidimensional e de tomografia computadorizada ocorreram no Laboratório de Geologia da Universidade Católica de Pernambuco – UNICAP e no Laboratório de Física dos Solos do Departamento de Energia Nuclear da UFPE, respectivamente.

#### 4.5.1 Ensaios de caracterização física

A caracterização física consiste em um conjunto de ensaios que proporcionam a obtenção de parâmetros e que identificam a natureza do solo, correlacionando com as suas propriedades mecânicas (SANTOS, 2009). Os ensaios realizados seguiram os métodos indicados pelas seguintes normas:

- NBR 6457/2016 – Amostras de Solos – Preparação para ensaios de compactação e caracterização;
- NBR 7181/2016 - Solo – Análise Granulométrica;
- NBR 6459/2016 – Solo – Determinação do Limite de Liquidez;
- NBR 7180/2016 – Solo – Determinação do Limite de Plasticidade.

Os procedimentos para determinação da densidade real dos grãos estão de acordo com a NBR 6457/2016 – Amostras de Solos – Preparação para ensaios de compactação e caracterização. Para a realização do ensaio de densidade real foi utilizado o método do picnômetro e bomba à vácuo. Cabe ressaltar que os dados de granulometria do solo e do RCC estão em conformidade com os ensaios realizados por Nascimento (2019).

#### 4.5.2 Ensaios de caracterização mecânica

Os ensaios laboratoriais de caracterização mecânica dos solos constituem um dos componentes de grande relevância na engenharia. Foram realizados os ensaios de compactação e compressão simples, em conformidade com as normas:

- NBR 7182/2016 - Solo - Ensaio de compactação;
- NBR 12770/1992 - Solo coesivo - Determinação da resistência à compressão não confinada - Método de ensaio;
- NBR 12007/1990 – Solo – Ensaio de adensamento unidimensional – Método de ensaio.

#### 4.5.2.1 Compactação

Os ensaios foram realizados utilizando-se a energia de compactação Proctor Normal e com reuso de material. Para cada compósito foram moldados cinco corpos de prova (CP) (Figura 4.7), perfazendo um total de 30 CP's.

Figura 4.7 – Corpo de prova do ensaio de compactação



Fonte: Acervo pessoal.

A compactação foi realizada somente para a umidade ótima, visto que na umidade abaixo da ótima, ou no ramo seco, há uma desorganização nas partículas dos materiais e na umidade acima da ótima, ou no ramo umido, há uma dificuldade na permeabilidade vertical e o favorecimento da permeabilidade horizontal (MACIEL, 2003).

#### 4.5.2.2 Compressão simples (CS)

A determinação da resistência à compressão simples (RCS) foi realizada para os períodos de cura de 7, 28, 60 e 120 dias, com aplicação de deformação máxima de 15 mm. Ao total, foram moldados 120 CP's, sendo uma série de 5 CP's para cada tempo de cura - de cada compósito. Em seguida, os CP's foram mantidos em câmara úmida para conservar a umidade de compactação durante o tempo de cura.

A moldagem utilizou a forma estática, onde o preenchimento do molde cilíndrico (50 mm de diâmetro e 100 mm de comprimento) se deu em três camadas, realizando-se escarificação entre camadas. Para garantir a efetividade dos ensaios de compressão simples, os corpos de prova passaram por controle tecnológico (Figura 4.8).

Figura 4.8 – Controle tecnológico dos corpos de prova para ensaio de compressão simples



Fonte: Acervo pessoal.

O controle de qualidade dos corpos de prova se baseou na verificação do teor de umidade antes e após a moldagem, onde retirava-se pequena porção de cada amostra para determinação da umidade pelo método da estufa. Depois de moldados, os corpos de prova foram pesados e medidos para verificar o grau de compactação. Os parâmetros estão disponíveis na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Parâmetros para aceitação dos corpos de prova

Parâmetros	Critérios
Grau de Compactação (GC)	100% $\pm$ 3%
Teor de umidade (%)	Valor $\pm$ 5%
Dimensões (mm)	Diâmetro 50 $\pm$ 0,5; Altura 100 $\pm$ 1

Fonte: Adaptado de Macedo (2013).

O rompimento dos corpos de prova foi realizado na prensa CBR, da marca TestTop (Figura 4.9), com aplicação de carga 500 kgf e com velocidade de 1,0 mm.mim<sup>1</sup>.

Figura 4.9 – Rompimento dos corpos de prova para ensaio de compressão simples



Fonte: Acervo pessoal.

Calculou-se o desvio padrão ( $D_p$ ) a partir dos valores de resistência à compressão máxima atingida por uma série de CP's (Equação 5), sendo aceitos desvíos máximos de 50 kPa e descartados os CP's com valor acima e/ou abaixo do  $D_p$ , assegurando-se o mínimo de 3 CP's para cada série.

$$D_p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - M_A)^2}{n}} \quad (5)$$

Onde  $x_i$  é um valor qualquer no conjunto de dados;  $M_A$  é a média aritmética dos dados do conjunto;  $n$  é a quantidade total dos dados do conjunto.

#### 4.5.2.3 Adensamento unidimensional

O ensaio de adensamento unidimensional para o solo, o RCC e os compósitos foi realizado com o objetivo de melhor compreender os efeitos da inclusão da fibra de babaçu nas curvas índice de vazios ( $e$ ) versus log da tensão efetiva ( $\sigma'$ ), no teor de porosidade ( $\eta$ ) e no parâmetro de compressibilidade - índice de compressão ( $C_c$ ). Para o ensaio foi utilizada prensa da marca Solotest.

As amostras foram extraídas dos corpos de prova compactados na densidade seca máxima e no teor de umidade ótima. O anel metálico (molde) utilizado possuía 40 cm<sup>2</sup> de área e altura de 2 cm e a célula endométrica era do tipo anel fixo. As leituras das deformações verticais foram realizadas utilizando extensômetros com sensibilidade de 0,01 mm, e em intervalo de tempo determinado pela NBR 12007 (ABNT, 1990).

Inicialmente, as amostras foram mantidas em saturação por 24 horas (Figura 4.10), nas quais se registrou a expansão do material em função tempo. Em seguida, se realizaram carregamentos, dobrando-se a carga a cada 24 horas. A sequência de pressões aplicadas às amostras foi de 10, 20, 40, 80, 160, 320, 640 e 1280 kPa.

Figura 4.10 – Saturação de amostra para ensaio de adensamento unidimensional



Fonte: Acervo pessoal.

O índice de compressão ( $C_c$ ) foi determinado através da inclinação da reta de compressão, obtida nas etapas de carregamento. E se utilizou o método de Pacheco e Silva para determinar a tensão sobre o adensamento (ABNT, 1990). O teor de porosidade ( $\eta$ ) das amostras foi obtido a partir do índice de vazios ( $e$ ) final, conforme Equação 6.

$$\eta (\%) = \frac{e}{e+1} \quad (6)$$

#### 4.5.3 Ensaio Não Destrutivo (END)

A técnica empregada foi a Tomografia Computadorizada (TC) de raios-x, um dos métodos não destrutivos mais modernos e que permite a obtenção de imagens da estrutura interna dos materiais (HSIEH, 2009). Técnicas de Ensaio Não Destrutivo (END) são alternativas para caracterização de materiais, que não geram danos físicos e não afetam as propriedades mecânicas (ANDREUCCI, 2013).

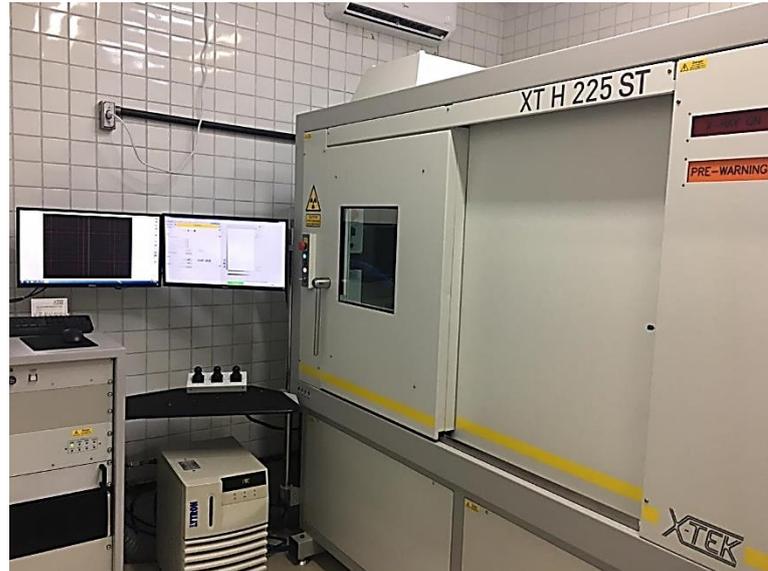
O estudo das imagens do ensaio de tomografia em solos permite definir as suas propriedades mecânicas e físicas, como: localizar defeitos e vazios, porosidade, a distribuição de agregados, densidade do solo, distribuição espacial do conteúdo de água e a retenção e movimento da água no solo (HSIEH, 2009; PIRES; BACCHI, 2010; AL-HEETY; SHANSHAL, 2015; XAVIER, 2019).

Segundo Helliwell *et al.* (2013), nos últimos 30 anos, a TC de raios-x forneceu um meio não destrutivo para visualizar e quantificar solos em 3D, tendo sido aplicada para cobrir a extensa caracterização da geometria do espaço poroso e fraturas dentro de uma amostra de solo. Assim, a visualização de amostras em 3D e a correlação dos resultados com medições complementares de laboratório, como no ensaio de adensamento, pode ajudar no entendimento dos processos de formação e desenvolvimento de poros com o tempo.

Nesse contexto, a realização do ensaio de TC objetivou analisar as imagens tomográficas para observar a porosidade do solo, RCC e compósitos, e verificar qual compósito apresentava menos poros. A moldagem dos CP's para o ensaio de tomografia seguiu o mesmo procedimento utilizado no ensaio de compressão simples, sendo moldado um CP para cada material, perfazendo um total de oito CP's.

Todos os CP's foram digitalizados usando um microtomógrafo de raios-x de terceira geração modelo NICON XT H 225 ST (Figura 4.11), a 150kV, com filtro de cobre (Cu) de espessura 0,5 mm, e com tempo de integração de 3.500 milissegundos, gerando uma sequência axial de imagens de atenuação de raios-x. Durante as tomografias, amostras estavam envolvidas em filme plástico para minimizar uma possível perda de umidade.

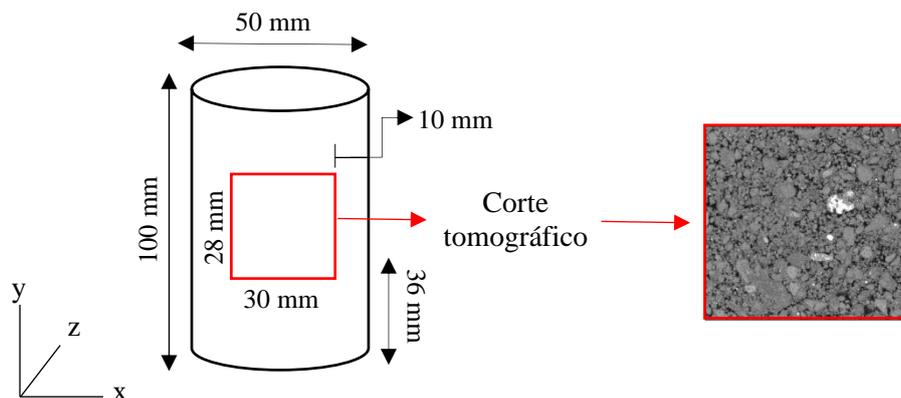
Figura 4.11 – Microtomógrafo modelo NICON XT H 225 ST



Fonte: Acervo pessoal.

A reconstrução tridimensional das imagens foi realizada usando o software CT Pro 3D XT 3.0.3 (Nikon Metrology NV) para um tamanho final de  $40\mu\text{m}$  voxel e, a partir da área selecionada (Figura 4,12), foram geradas 683 imagens para cada CP, com intensidade de 16 bits.

Figura 4.12 – Diagrama esquemático dos corpos de prova e da área de seleção para reconstrução tridimensional tomográfica



Fonte: Acervo pessoal.

As imagens tomográficas do solo, RCC e compósitos foram obtidas com área de  $8,4\text{ cm}^2$  e volume de  $22,68\text{ cm}^3$  (com  $752 \times 716 \times 683$  Voxels), aproximadamente. A seleção da área para reconstrução foi necessária devido a incapacidade de reconstrução de imagens de amostras grandes. Segundo Pires e Bacchi (2010), esse problema é em razão às características das fontes

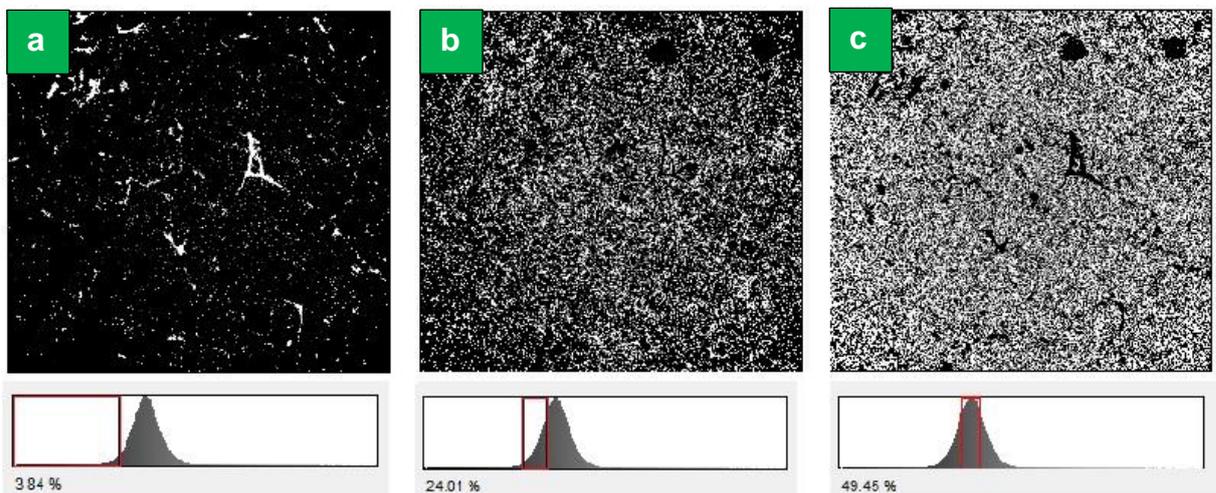
de raios-X e por isso as amostras não devem exceder o tamanho de alguns poucos centímetros, < 10 cm.

Para visualização da imagem reconstruída foi utilizado o software VGStudio MAX com a aplicação do filtro de Gauss para a minimização de ruídos e a transformação da escala (radiodensidade) foi dimensionada de acordo com a Hounsfield Field Scale (Hu), onde o ar é igual a 0 Hu e a água é igual a 1000 Hu.

O software ImageJ foi utilizado para processamento das imagens. Binarização inicial das imagens envolveram o uso de procedimentos padronizados e de limiarização (MUNKHOLM *et al.*, 2016), desenvolvidos por Elliot e Heck (2007), que incluíram limiarização manual, multiplicação de imagens para converter o binário em Hu.

Para a limiarização manual foi utilizada a ferramenta *Threshold* do software ImageJ. Com essa ferramenta é possível visualizar o histograma das imagens e, a partir dele, selecionar a região de interesse, ou seja, a pico que melhor representa os vazios e/ou a matriz do material. Costa (2017), por tentativas e erros, conseguiu identificar que um histograma de TC pode ser dividido em três regiões, demonstrado na Figura 4.13.

Figura 4.13 – Processo de limiarização manual



Legenda: a) região que representa os vazios; b) região próxima ao pico e que representa a matriz; c) região pico do histograma e que representa a matriz. Fonte: Acervo pessoal.

Devido a heterogeneidade dos materiais constituintes do solo, RCC e compósitos, são provocadas diferentes capacidades de atenuação nas imagens. Essa atenuação, segundo Costa (2017), pode ser dividida em fases, sendo: fase dos vazios, da matéria orgânica, da matriz e dos

fragmentos de rocha ou sólidos. O autor ainda ressalta que a matriz consiste da região do solo sem sólidos e sem poros, de volumes maiores que o volume do voxel da imagem.

A fase dos vazios, por estar preenchida por ar, constitui uma região menos densa e é representada na imagem em escala de cinza por tons mais escuros. À medida que a densidade do material aumenta, os tons que o representa na imagem são mais claros, sendo os fragmentos de rocha representados em coloração próxima a branco (COSTA, 2017).

Para melhor representar a interação entre as fases dos materiais, a região selecionada no processo de limiarização manual foi a soma da região que representa os vazios e a região próxima ao pico do histograma.

Após o procedimento de análise e tratamento das imagens no software ImageJ, a porosidade dos materiais foi calculada pela relação entre a soma dos volumes dos poros ( $\text{mm}^3$ ) e o subvolume reconstruído da área da amostra (Equação 7). De modo que, os volumes dos poros foram calculados como sendo a multiplicação do volume (em voxel) fornecido pelo software e a resolução da imagem (tamanho do voxel) (COSTA, 2017), de acordo com a Equação 8.

$$\eta = \frac{V_{\text{poro}}}{V_{\text{subvolume}}} \times 100 \quad (7)$$

$$V_{\text{poro}} = V_{\text{Voxel}} \cdot (\text{Voxel}^3) \quad (8)$$

## 5 RESULTADOS

Este capítulo apresenta a investigação temporal da encosta estudada, sendo possível fazer um diagnóstico mais preciso a respeito dos processos erosivos que acometem a área, bem como os resultados dos ensaios laboratoriais, compreendendo a caracterização mecânica e física dos materiais e suas respectivas análises.

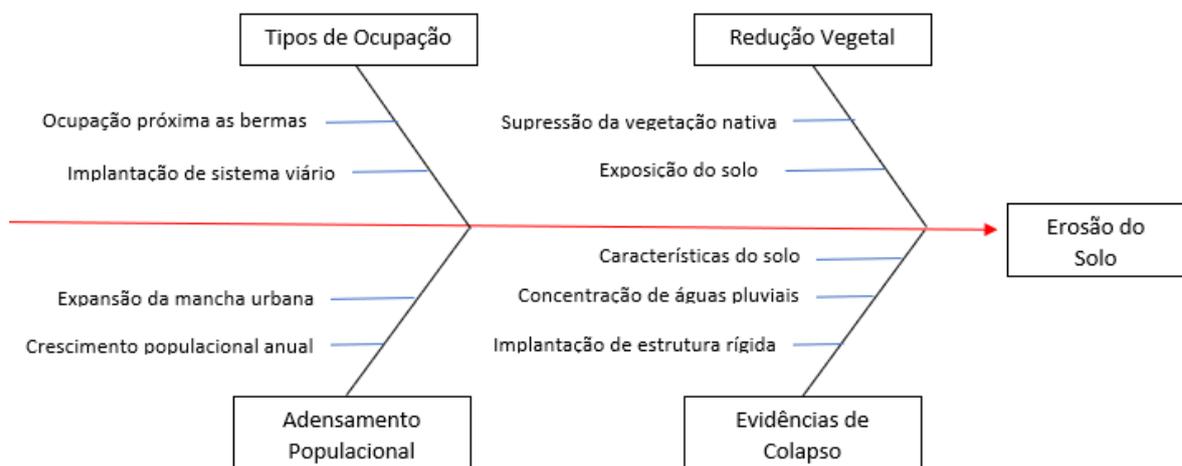
### 5.1 Impactos ambientais na área da encosta

#### 5.1.1 Diagrama de causa-efeito

Com a elaboração do Diagrama de causa e efeito, foi realizada a avaliação das possíveis fontes causadoras de impactos em uma rede de interação com os seus respectivos indicadores ambientais, conforme Figura 5.1. A erosão do solo foi o impacto ambiental/efeito final considerado neste estudo, e tanto os indicadores quanto suas causas foram identificadas durante o levantamento de referencial teórico.

Para o indicador ambiental “tipos de ocupação” as causas atreladas foram as ocupações próximo as bermas da encosta e implantação do sistema viário. Para o indicador “adensamento populacional” os fatos causadores foram a expansão da mancha urbana e o crescimento populacional. Em relação ao indicador “redução da vegetação” tem-se como causa a supressão da vegetação nativa e exposição do solo. Já para o indicador “evidências de colapso” as causas podem ser as características do solo, a concentração de águas pluviais e implantação de estruturas rígidas (escoramentos, aterros, tubulações).

Figura 5.1 – Diagrama de causa e efeito



Fonte: Acervo pessoal.

É percebido que para cada indicador ambiental existem ações/causas que afetam diretamente o meio ambiente, provocando sua degradação. No entanto, essas mesmas ações se tornam secundárias se analisadas a partir de outro indicador, comprovando a interação entre si. Por esse fato, as ações mitigatórias devem englobar o máximo de indicadores ambientais possíveis.

### 5.1.2 Avaliação dos indicadores ambientais

Com as visitas na área foram verificadas na encosta, características de processos erosivos (Figura 5.2). Também foi observado, áreas desprotegidas de vegetação, redução de áreas úteis de ocupação devido aparecimento de pontos críticos (suscetíveis a processos erosivos), acúmulo de resíduos sólidos urbanos (RSU) junto às estruturas rígidas e redução da condutividade hidráulica.

Figura 5.2 – Processo erosivo no perfil da encosta



Fonte: Acervo pessoal.

Ficou evidente a ocorrência de processos de erosão hídrica no talude, pois as áreas sem a cobertura vegetal apresentavam formação de erosivos no solo, ou seja, linhas/cortes no terreno resultantes do intenso desgaste provocado pelo escoamento da água sobre o solo.

A susceptibilidade do solo da encosta pode ser comprovada a partir das análises granulométricas, mineralógicas e químicas realizadas por Nascimento (2019). O autor verificou que o solo é uma argila inorgânica de alta plasticidade, que possui caráter não dispersivo e que se comporta como uma pozolana natural. No entanto foi constatado um mau comportamento do solo frente à erosão.

O comportamento do solo frente à erosão está associado a expansibilidade do material. Segundo Simões de Oliveira, Jesus e Miranda (2006) a expansão é refletida na variação volumétrica do solo durante o umedecimento, o que provoca levantamento ou deslocamento das estruturas que estejam apoiadas sobre ele. Concluindo assim, que o solo da encosta possui propriedades intrínsecas que favorecem a ocorrência de acidentes geotécnicos.

A encosta está situada às margens da rodovia PE-035, onde a drenagem direciona as águas da chuva para as laterais da pista e são captadas por drenos. Em situações de precipitações acima do estimado, podem ocorrer inundações e/ou obstrução dos drenos e posterior infiltração na base da encosta.

Segundo Bezerra (2018), a estrutura da encosta passou por um retaludamento, onde foram inseridas duas bermas e um sistema de drenos constituídos de canaletas para aumentar sua estabilidade. Contudo, Rocha (2015) verificou que a rede de drenagem e o relevo, associados as características físicas da área, relacionam-se diretamente com a susceptibilidade do local a desastres, como movimentação de massa.

A encosta faz parte de uma área privada e não foram identificadas construções próximas às bermas, já as construções em limites vizinhos apresentavam baixo padrão construtivo. Não se observou despejo de esgoto diretamente no ambiente e também não foram identificadas obras de contenção. Segundo Ji *et al.* (2014) a triagem do uso da terra permite identificar áreas propensas a erosão das superfícies. Assim o indicador “tipo de ocupação” foi classificado como risco de grau médio.

Devido a inclinação da encosta, águas pluviais tendem a escoar sob sua superfície, carreando partículas do solo, e concentrando-se nas bermas construídas. Assim, Paroissien *et al.* (2015) concluíram que a taxa de erosão é mais sensível a mudanças no uso da terra que as mudanças sofridas com precipitações.

Nesse contexto, o indicador “evidências de colapso” foi classificado em grau de risco alto, pois, mesmo após a implantação do sistema de drenagem superficial e estabilização geotécnica, foram percebidas feições de processos erosivos e a falta de monitoramento regular.

O cruzamento dos dados sobre “tipos de ocupação” (ocupações próximas as bermas e implantação de sistema viário) e “evidências de colapso” (características do solo, concentração

de águas pluviais e implantação de estrutura rígida), configuram risco iminente, visto que essa classificação para Rocha (2015) representa uma área ocupada com moradias de baixo padrão e com potencial a desastres naturais, devendo ser realizada intervenção a curto prazo.

### 5.1.3 Dados do sensoriamento remoto

Na Tabela 5.1 foi descrita a distribuição espacial e os resultados qualitativos da avaliação do uso e cobertura da encosta situada na Ilha de Itamaracá, baseada na classificação digital de imagens de satélite para os anos de 1975, 1989, 1998 e 2018. As classes observadas foram: (1) solo exposto, (2) vegetação, (3) mancha urbana e (4) sistema viário.

Tabela 5.1 – Dados do uso e ocupação do solo

Classe	Área (m <sup>2</sup> )				% da área de estudo			
	1975	1989	1998	2018	1975	1989	1998	2018
Solo exposto	19940,49	14174,46	6864,89	39574,18	20,79	14,78	7,16	41,25
Vegetação	73254,61	77097,62	83633,97	37414,12	76,36	80,37	87,18	39
Mancha urbana	194,28	295,8	2434,33	12263,09	0,2	0,31	2,54	12,78
Sistema viário	2537,84	4358,53	2997,64	6676,95	2,65	4,54	3,12	6,96

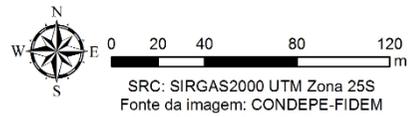
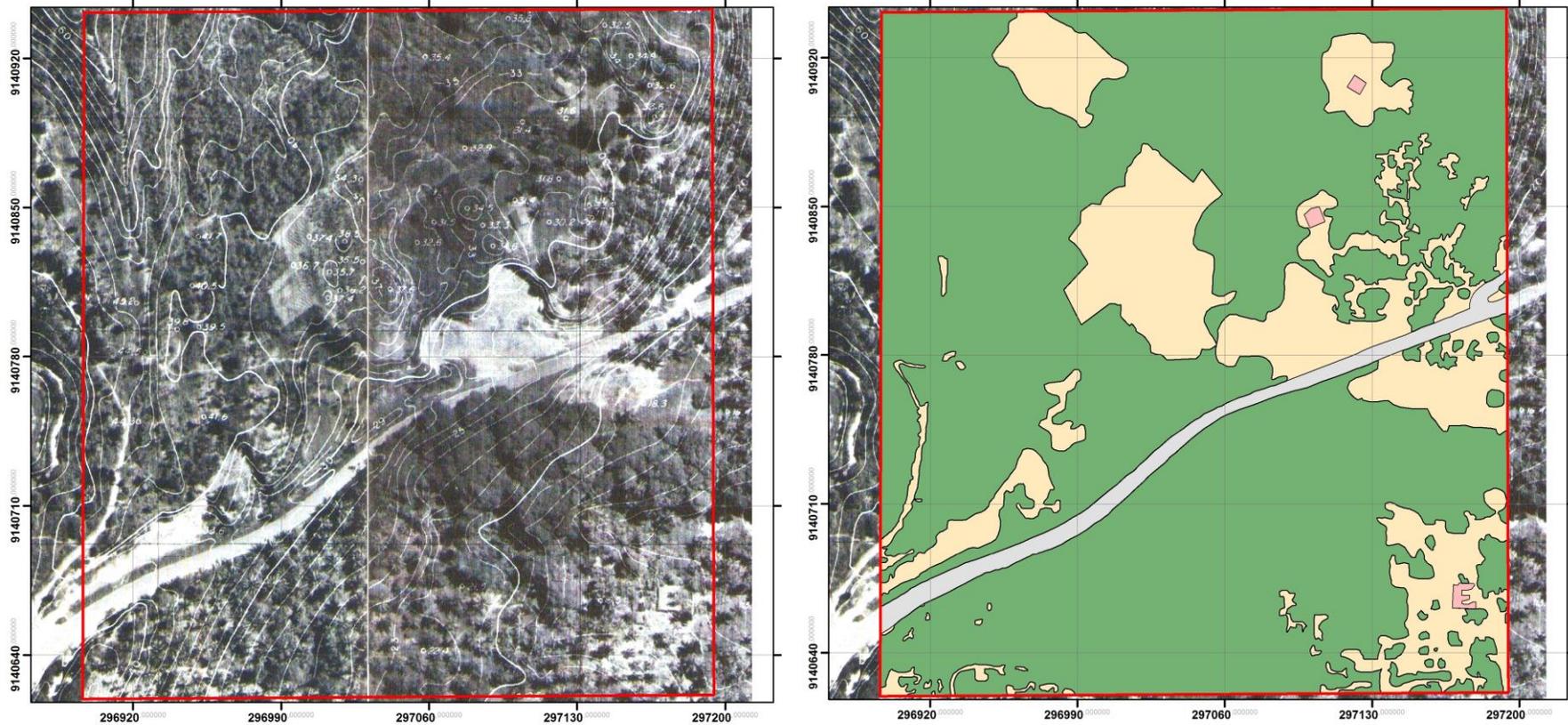
Fonte: Elaborado a partir de CONDEPE/FIDEM (2019).

Para qualificar as mudanças temporais, foi necessário realizar uma restituição das ortofotocartas, conforme Figuras 5.3 e 5.6. Foi utilizado o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas 2000 (SIRGAS2000), o novo sistema de referência para o Sistema Geodésico Brasileiro (SGB). A encosta encontra-se na zona 25 S para o sistema de coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM).

Figura 5.3 – Uso e ocupação da área da encosta em 1975

**Ortofoto de 1975**

**Reconstituição da ortofoto de 1975**

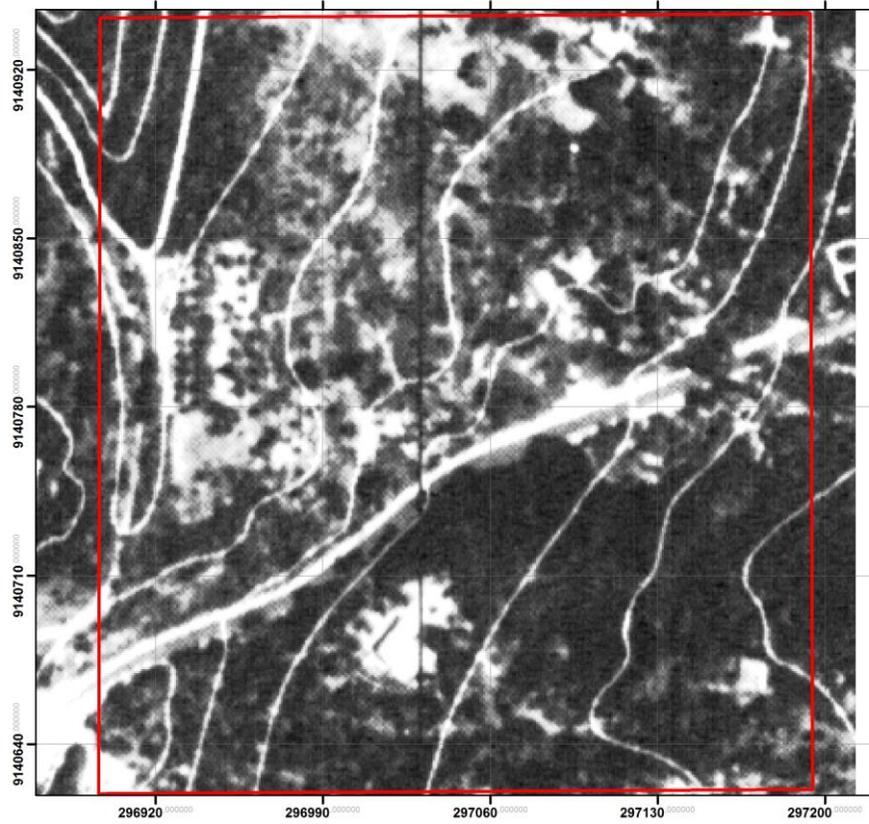


- Área de estudo
- Solo exposto
- Sistema viário
- Mancha urbana
- Vegetação

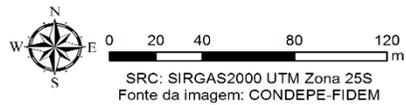
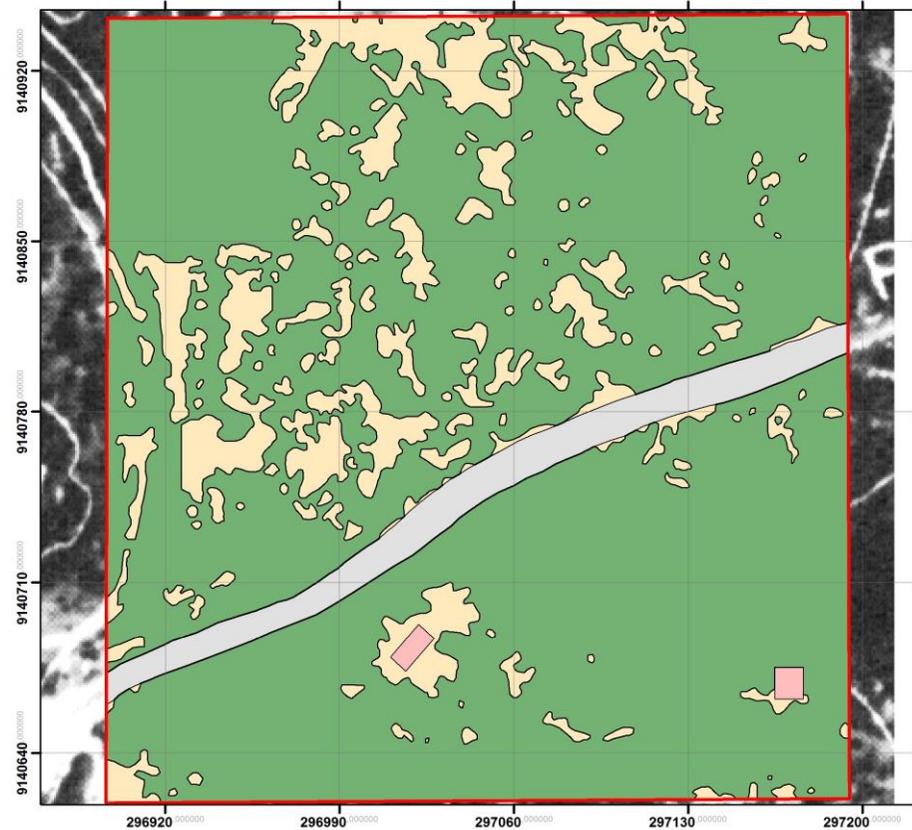
Fonte: Acervo pessoal.

Figura 5.4 – Uso e ocupação da área da encosta em 1989

Ortofoto de 1989



Reconstituição da ortofoto de 1989

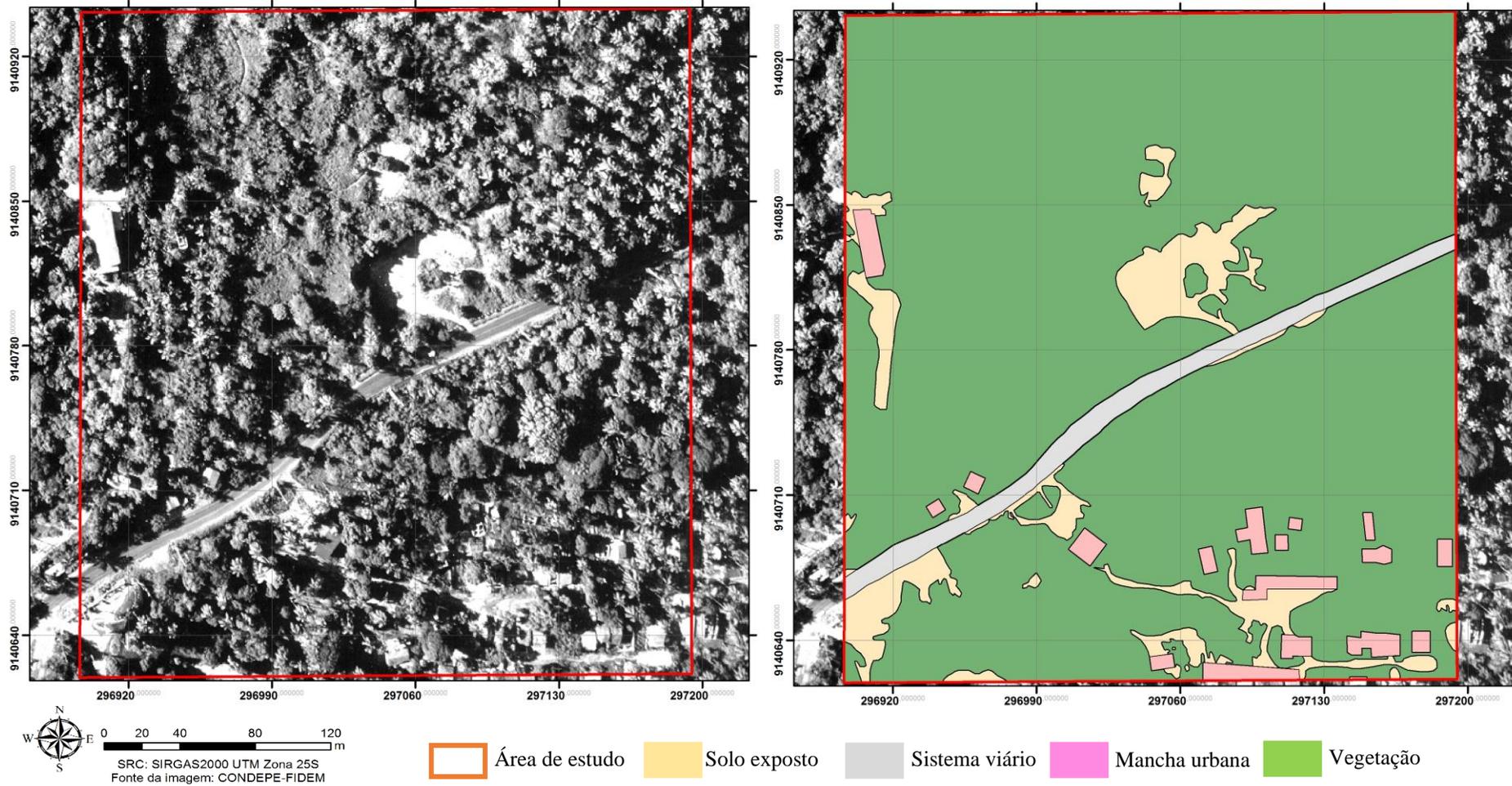


Fonte: Acervo pessoal.

Figura 5.5 – Uso e ocupação da área da encosta em 1998

Ortofoto de 1998

Reconstituição da ortofoto de 1998

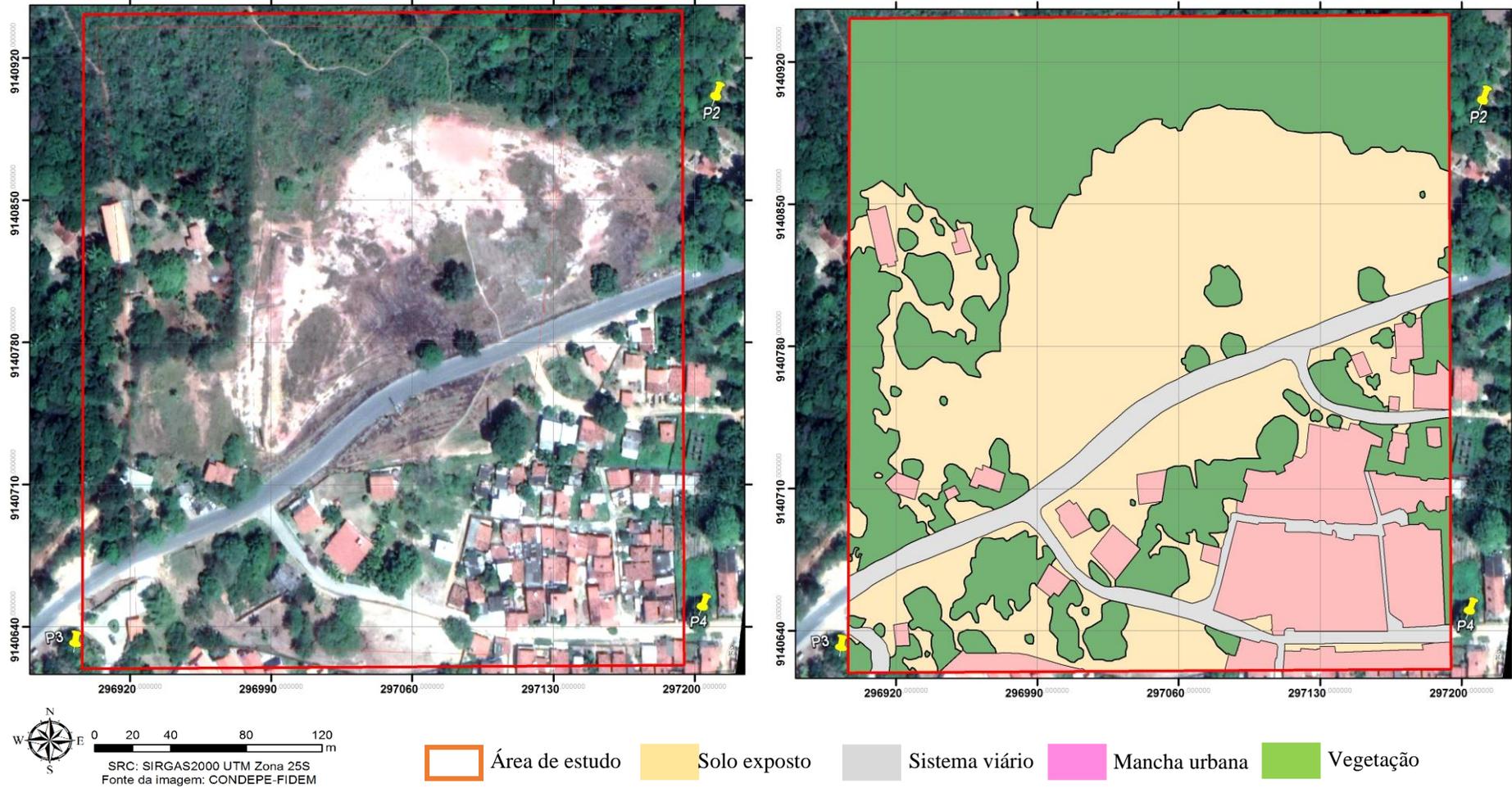


Fonte: Acervo pessoal.

Figura 5.6 – Uso e ocupação da área da encosta em 2018

Ortofoto de 2018

Reconstituição da ortofoto de 2018



Fonte: Acervo pessoal.

#### 5.1.4 Análise temporal do uso e ocupação do solo

Em 1975, a mancha urbana representava 0,2% do território. No entanto, no ano de 2018, a mancha se expandiu, aproximadamente 13 vezes. Esse crescimento em 43 anos, está associado a modificação espacial, na qual ocorreu a redução da vegetação para possibilitar novas construções e, conseqüentemente, o aumento de áreas impermeabilizadas.

À medida que se registra a expansão de manchas urbanas é possível perceber a ampliação do sistema viário, visto a necessidade de criar rotas de acesso aos novos endereços, facilitando a locomoção e trânsito de pessoas e bens. Entre os anos 1975 e 2018 o sistema viário na área estudada foi ampliado em 4139 m<sup>2</sup>.

Entre os anos de 1975 e 1998 foi registrado aumento de 14% na área de vegetação e redução de 63% na área de solo exposto. No entanto, metade da área com vegetação foi reduzida em 2018 e a área de solo exposto cresceu em um total de 32709 m<sup>2</sup>. Essas alterações geram preocupação em relação a formação de novas áreas suscetíveis a deslizamentos, conforme apresentado na Figura 5.7.

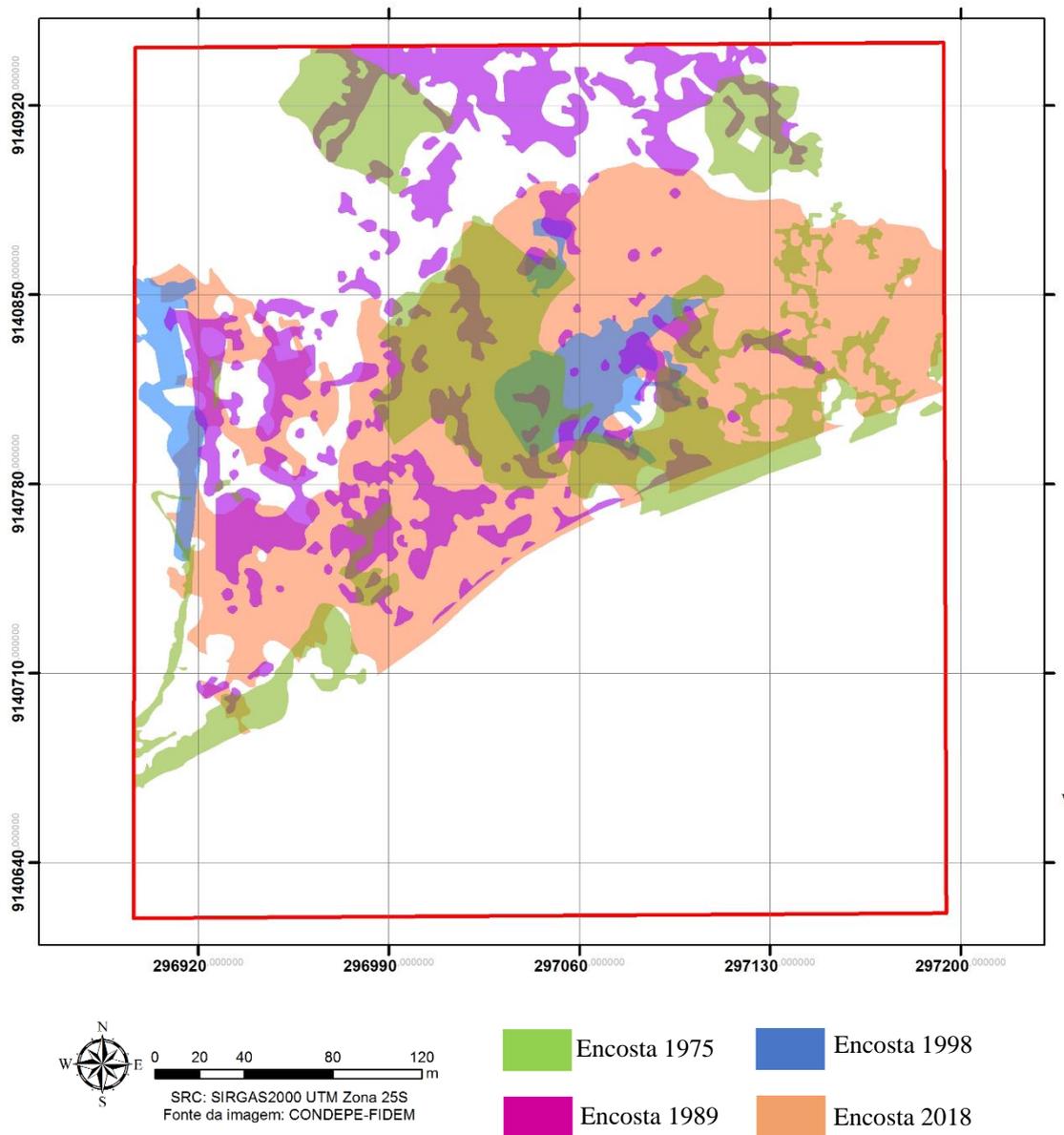
O crescimento alarmante do parâmetro solo exposto, que ocorreu no período de 1998 a 2018, pode ter raízes nas antigas jazidas de saibro, que eram exploradas na região aliadas a natureza expansiva do solo. Segundo Stephan (2010) e Fernandes (2015) a falta de cobertura vegetal no solo tornam o local propenso à incidência direta da chuva sobre a superfície do terreno, acelerando o escoamento superficial.

Ainda é importante averiguar a causa da grande expansão da mancha urbana na área circundante à encosta, visto a pequena taxa de 3,7% anual para crescimento populacional na Ilha de Itamaracá, quando comparada aos 13,3% de Recife, capital do Estado. Nesse contexto, os indicadores “adensamento urbano” e “redução vegetal” receberam classificação de alto grau de risco, devido a possibilidade de movimento de massa.

A partir da constatação de uso e ocupação irrestritos do solo, devido ao aumento da população urbana, é percebido que o planejamento urbano e a gestão pública não conseguiram absorver o incremento populacional e não ofereceram a infraestrutura básica para os novos aglomerados urbanos. De acordo com Gogoi (2013), Balamurugan e Sridhara Aravind (2015) e Kumar,

Rosenberger e Iqbal (2016), essa configuração incorre no surgimento de assentamentos ilegais, degradação dos recursos naturais, redução de biodiversidade e surgimento de ilhas de calor.

Figura 5.7 – Degradação da área de encosta entre 1975, 1989, 1998 e 2018



Fonte: Acervo pessoal.

### 5.1.5 Perspectivas futuras de ocupação na área da encosta

Ao relacionar os resultados das interações ambientais e a análise temporal, constata-se que houve um crescimento urbano constante na área de estudo e que o pico desse crescimento foi registrado em 2018. Em contra partida, a preocupação com a preservação do ambiente não

acompanhou esse cenário, incorrendo na redução da vegetação, ou seja, redução da biodiversidade.

Com a aplicação do método matemático foi possível prever a situação para 2028 do uso e ocupação do solo na área da encosta, situada na Ilha de Itamaracá/BR, conforme Tabela 5.2. Os dois métodos foram utilizados com fins comparativos, pois, de acordo Silva (2011), o método geométrico, geralmente, apresenta estimativas menores do que obtidas pelo método aritmético nos cálculos intercensitários.

Tabela 5.2 – Previsão de Uso e Ocupação do Solo em 2028 para área de estudo

Classe	2028					
	Método aritmético			Método geométrico		
	Crescimento anual	Área (m <sup>2</sup> )	% da área de estudo	Crescimento anual	Área (m <sup>2</sup> )	% da área de estudo
Solo exposto	456,60	44.140,15	42,21%	0,01594	46.412,92	41,28%
Vegetação	- 833,50	29.079,12	37,26%	- 0,01563	32.001,86	36,64%
Mancha urbana	280,67	15.069,79	13,37%	0,09640	32.154,70	15,02%
Sistema viário	96,26	7.639,53	7,16%	0,02250	8.361,40	7,06%

Fonte: Elaborado a partir de CONDEPE/FIDEM (2019).

É possível identificar uma diferença entre os resultados dos métodos matemáticos. Como previsto, os valores obtidos com o método geométrico são maiores do que os do método aritmético.

Analisando a previsão para 2028, verifica-se um grande crescimento da mancha urbana, cerca de 38% em relação a 2018, e é observado que somente a taxa de crescimento da vegetação apresenta valor negativo. Para Vargo *et al.* (2013) diferentes padrões de desenvolvimento contribuem para mudança e conversão da cobertura vegetal e que o aumento das densidades de assentamento pode ter influência significativa na taxa de desmatamento por unidade de crescimento populacional.

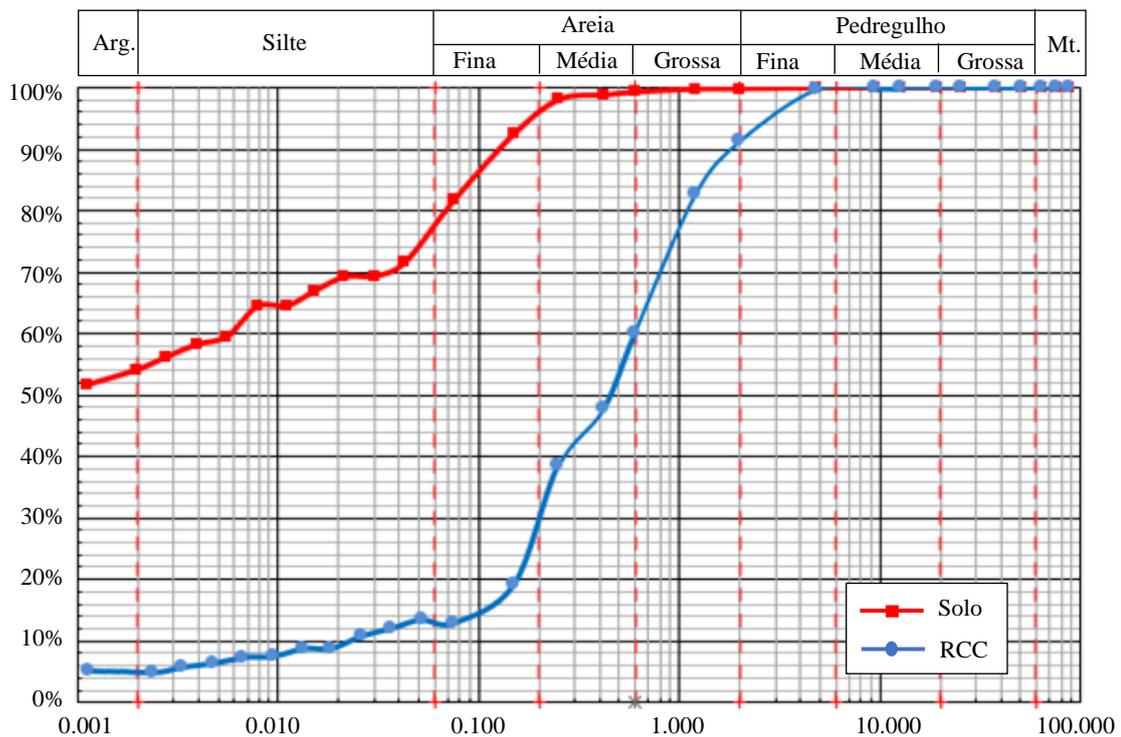
A área ocupada pelo solo exposto também apresenta crescimento em 2028, confirmando assim os resultados mencionados na avaliação dos indicadores ambientais, quanto à redução de áreas úteis de ocupação devido aparecimento de sujeitos a processos de erosão hídrica, principalmente. Para a gestão desse problema, Botero-Acosta *et al.* (2017) e SooHoo, Wang e Li (2017) aconselham a utilização de práticas de manejo sustentável de terra e do solo, como medidas de conservação e restauração.

## 5.2 Caracterização física

### 5.2.1 Granulometria

A análise granulométrica do solo e do RCC foi realizada para confirmar a caracterização anteriormente realizada por Nascimento (2019). As curvas obtidas no ensaio encontram-se na Figura 5.8.

Figura 5.8 – Curva granulométrica do solo e do RCC



Fonte: Acervo pessoal.

O formato da curva granulométrica do solo revela a irregularidade na textura desses materiais, ou seja, a existência de uma má distribuição entre as suas frações granulométricas, o que pode provocar a formação de vazios e a susceptibilidade a processos de erosão hídrica.

Os percentuais de pedregulho, areia, silte e argila encontrado para o solo e o RCC corrobora com os resultados obtidos por Nascimento (2019). A classificação dos materiais foi realizada em conformidade com o Sistema de Unificado dos Solos (SUCS) (ASTM, 2017) e os resultados encontram-se descritos na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 – Classificação SUCS para o solo e RCC

<b>Amostra</b>	<b>Classificação SUCS</b>	<b>Grupo SUCS</b>
Solo	Argila inorgânica de alta plasticidade	CH
RCC	Areia bem graduada	SW

Fonte: Acervo pessoal.

A análise granulométrica permite compreender o efeito que será provocado quando materiais de diferentes classificações forem misturados. Desse modo, a mistura dos materiais resulta em um compósito que pertence em uma faixa granulométrica intermediária, tendo com limite superior e inferior os seus materiais constituintes. A verificação desse comportamento pode ser comprovada a partir dos ensaios de densidade real.

### 5.2.2 Densidade real

Na Tabela 5.4 foram apresentados os resultados obtidos para densidade real das partículas do solo, RCC e dos compósitos.

Tabela 5.4 – Densidade real das partículas do solo, RCC e compósitos

<b>Amostra</b>	<b>Densidade real (g/cm<sup>3</sup>)</b>
Solo*	2,73
RCC*	2,61
S50R49,5F0,5	2,64
S50R49F1	2,65
S70R29,5F0,5	2,66
S70R29F1	2,67
S99F1	2,63
S99,5F0,5	2,67

Legenda: (\*) dados de Nascimento (2019).

Fonte: Acervo pessoal.

Segundo Carvalho (2004) a densidade dos grãos depende, primeiramente, da composição química e composição mineralógica do solo. Em média, constituintes minerais dos solos (quartzo, feldspatos e silicatos de alumínio coloidais) possuem densidades de partículas em torno de 2,65 g cm<sup>-3</sup> e a matéria orgânica tem densidade específica de 0,9 a 1,3 g cm<sup>-3</sup>. Desse modo, foi possível observar que à medida que se substitui parcela do solo por RCC e fibras, tem-se a redução do valor da densidade real.

Macedo (2013) encontrou o valor de 2,63 g/cm<sup>3</sup> para a densidade real do agregado reciclado; Lira Jr. (2010) percebeu o intervalo de densidade entre 2,63 g/cm<sup>3</sup> a 2,76 g/cm<sup>3</sup>; e para Portela

(2019) o valor da densidade real foi de 2,62 g/cm<sup>3</sup>. Esses resultados confirmam a semelhança na composição granulométrica do RCC (classe A).

### 5.2.3 Limites de Atterberg

Os resultados para os limites de Atterberg foram descritos na Tabela 5.5. Foi possível observar que o solo não reforçado apresentava porcentagens maiores de limite de liquidez (LL), limite de plasticidade (LP) e índice de plasticidade (IP), sendo classificado em altamente plástico.

O agregado reciclado não apresentou resultados para LL e LP, desse modo foi classificado como não plástico. Para Portela (2019) esse resultado é explicado pelo alto teor de areia presente na composição do agregado, em detrimento do baixo percentual de componentes coesivos.

Tabela 5.5 – Limites de Atterberg

<b>Amostra</b>	<b>LL (%)</b>	<b>LP (%)</b>	<b>IP (%)</b>	<b>Classificação</b>
Solo*	53,28	21,75	31,53	Altamente Plástico
RCC*	NL	NP	-	Não Plástico
S50R49,5F0,5	25,04	20,20	4,84	Pouco Plástico
S50R49F1	40,88	17,10	23,78	Altamente Plástico
S70R29,5F0,5	27,31	18,40	8,90	Medianamente Plástico
S70R29F1	33,74	16,78	16,96	Altamente Plástico
S99F1	39,54	17,15	22,39	Altamente Plástico
S99,5F0,5	43,79	20,20	23,59	Altamente Plástico

Legenda: (\*) dados de Nascimento (2019).

Fonte: Acervo pessoal.

Os compósitos S50R49,5F0,5 e S70R29,5F0,5, preparados com 0,5% de fibras de coco babaçu, mostraram melhor característica de plasticidade do que os preparados com 1% de fibras. Contudo, se for comparado os valores de IP dos compósitos S50R49F1 e S70R29F1 ao valor de IP do solo, verifica-se que esses compósitos, mesmo sendo altamente plásticos, possuem IP's menores, o que garante melhores resultados para a plasticidade.

Menezes (2018) também verificou que o IP em compósitos preparados com solo e fibras de coco verde era menor que o IP obtido para o solo, fazendo-o considerar os compósitos como um material menos plástico. Assim, esses resultados mostram que o material (solo) passou de altamente plástico para medianamente plástico (compósitos).

Em relação ao RCC, Da Silva Segantini e Wada (2011) haviam concluído que a adição desse resíduo no reforço de solos, contribui para a melhoria das características de plasticidade e

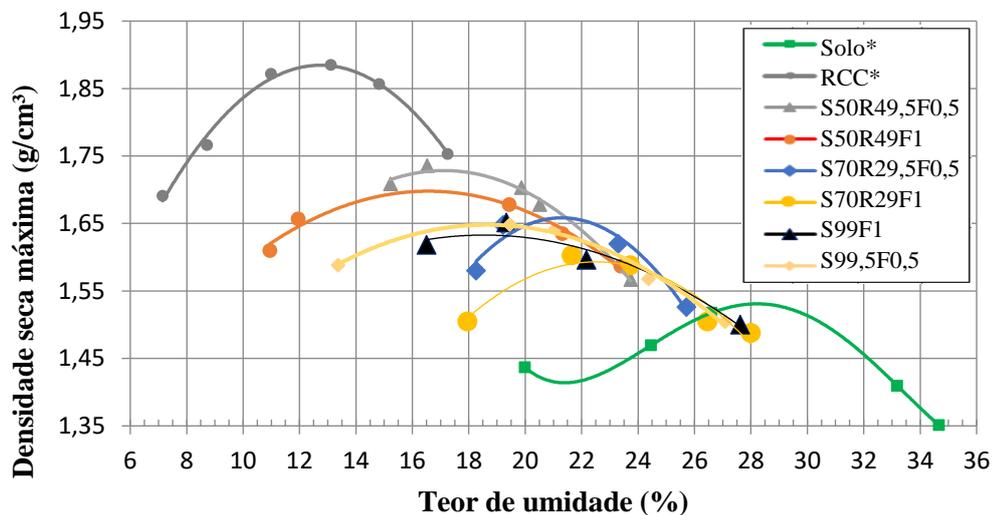
trabalhabilidade do solo. Os autores verificaram que o teor 20% de RCC em um solo arenoso fino foi suficiente para reduzir o LL de 27,7% para 20,9% e LP de 18,3% para 16,2%.

### 5.3 Caracterização mecânica

#### 5.3.1 Compactação

As curvas de compactação obtidas para o solo, o RCC e os compósitos são apresentadas na Figura 5.9. Os valores relacionados a densidade seca máxima e teor de umidade ótima são mostrados na Tabela 5.6.

Figura 5.9 – Curvas do ensaio de compactação



Legenda: (\*) dados de Nascimento (2019).

Fonte: Acervo pessoal.

Tabela 5.6 – Umidades ótimas e densidades seca máxima

Amostra	Umidade ótima (%)	Varição em relação ao solo do teor de umidade ótima (%)	Densidade seca máxima (g/cm³)	Varição em relação ao solo da densidade seca máxima (g/cm³)
Solo*	28,2	-	1,53	-
RCC*	12,7	-	1,89	-
S50R49,5F0,5	17,1	- 11,1	1,73	+ 0,2
S50R49F1	15,6	- 12,6	1,73	+ 0,2
S70R29,5F0,5	21,4	- 6,8	1,65	+ 0,12
S70R29F1	21,6	- 6,6	1,61	+ 0,08
S99F1	20,8	- 7,4	1,66	+ 0,13
S99,5F0,5	18,7	- 9,5	1,65	+ 0,12

Legenda: (\*) dados de Nascimento (2019).

Fonte: Acervo pessoal.

É possível identificar que o solo, material de menor granulometria, apresentou o teor de umidade ótima de 28,2% e densidade seca máxima de 1,53 g/cm<sup>3</sup>. Todavia, para o RCC, material de maior granulometria, o teor de umidade foi de 12,7% e a densidade foi de 1,89 g/cm<sup>3</sup>. Takeda (2006) investigou essa relação entre a umidade ótima *versus* densidade seca máxima e características físicas dos solos, e concluiu que existe uma tendência comportamental relacionada à influência da gênese dos solos na compactação.

Santos (2008) observou que os solos com predomínio de argila apresentam teor de umidade ótima mais elevado, conduzindo a valores mais reduzidos de densidade seca. Já os solos mais grosseiros têm o teor de umidade ótima mais reduzido, atingindo valores mais elevados de densidade seca.

Assim, verifica-se que o teor de umidade ótima encontrados para o solo, o RCC e compósitos estão enquadrados no intervalo esperado, pois solos finos (passante na peneira #200 > 50%) apresentam teores de umidade superiores a 19,5% e solos intermediários (35% < passante na peneira #200 ≤ 50%) apresentam teores variando entre 8,0% e 17%, conforme estudos de Takeda (2006).

Cabe ressaltar, que o RCC por ser constituído por 77% de areia, ao ser misturado ao solo, resulta em compósitos com teores de umidade menores que o teor de umidade do solo e maiores que o teor do próprio RCC. Comportamento similar é encontrado com a substituição de parcela do solo por fibras de coco babaçu, devido as fibras possuírem diâmetro entre 2 mm e 4 mm, conferem ao solo um percentual mais granular e reduzem a sua umidade ótima.

Uma análise histórica de ensaios de compactação para misturas de solo e fibras, realizada por Feuerharmel (2000), mostra similaridade no comportamento das curvas, onde ocorre um decréscimo da densidade e um acréscimo na umidade ótima, porém essas variações são consideradas não muito insignificativas. Assim, foi observado que os compósitos S50R49F1 e S50R49,5F0,5 apresentaram o mesmo valor de 1,73 g/cm<sup>3</sup> para a densidade seca máxima, podendo ser percebido que o teor de incorporação de fibras de coco babaçu não influenciou nessa propriedade dos referidos compósitos.

Ao observar os resultados do ensaio de compactação para os compósitos S99F1 e S99,5F0,5, sem a presença de RCC, verifica-se que o comportamento encontrado difere daquele apontado por Feuerharmel (2000). A umidade ótima do solo natural é reduzida ao receber o reforço de

fibras de coco babaçu, passando de 28,2% para 18,7% (S99,5F0,5) e 20,8% (S99F1), uma significativa variação.

Oliveira (2011) observou que as fibras de coco de babaçu apresentam teor de absorção de umidade de 2% e, para as fibras de coco verde, Gowthaman, Nakashima e Kawasaki (2018) encontraram um teor variável de 130% a 180%. Comparativamente, observa-se que as fibras oriundas do babaçu absorvem pouquíssima umidade e esse fato pode justificar o comportamento das curvas de compactação de compósitos reforçados com esse material.

Para materiais que absorvem elevados teores de umidade, é necessário a adição de maior quantidade de água durante a compactação, o que reduz o valor da densidade. Assim, os resultados de Chaple e Dhattrak (2013) corroboraram com a observação supracitada e revelaram que a incorporação de 1% de fibras de coco verde, em um solo argiloso, aumentava a umidade ótima de 18,1% para 20,76%, enquanto diminuía a densidade aparente seca máxima de 17,28 kN/m<sup>3</sup> para 16,62 kN/m<sup>3</sup>.

Oliveira Júnior (2018) estudou o comportamento geotécnico de misturas compactadas de solo argiloso com fibras curtas de coco verde e notou que a medida que se aumentava a adição de fibras no solo, de 0% a 2%, a densidade seca máxima era reduzida de 1,68 g/cm<sup>3</sup> para 1,584 e a umidade ótima passava de 19,2% para 20,5%, concluindo que aumento no conteúdo de fibra resultava em misturas com maior porosidade.

Na compactação ocorre um processo de densificação do solo, promovendo a redução da porosidade e permeabilidade, bem como um aumento na sua resistência, conforme descrito por Silva, Passos e Beltrão (2009). Em vista disso, é possível perceber que todos os compósitos ensaiados apresentaram valores de densidade seca máxima superior a densidade do solo natural, o que poderá resultar em ganhos resistência mecânica nos compósitos.

### 5.3.2 Compressão simples

A determinação da resistência à compressão simples (RCS) foi realizada para cada compósito e para os períodos de cura de 7, 28, 60 e 120 dias. Cabe ressaltar que, a deformação máxima aplicada a todos os corpos de prova (CP) foi de 15 mm.

### 5.3.2.1 Compósitos de solo-RCC-fibra

Os valores de resistência à compressão simples (RCS) máxima obtidos pelos compósitos de solo-RCC-fibra, demonstraram crescimento ao longo dos tempos de cura, conforme apresentado na Tabela 5.7.

Tabela 5.7 – Valores de resistência à compressão simples máxima dos compósitos de solo-RCC-fibra

<b>Amostra</b>	<b>7 dias (kPa)</b>	<b>28 dias (kPa)</b>	<b>60 dias (kPa)</b>	<b>120 dias (kPa)</b>
Solo*	182	380	633	993
RCC*	132	147	540	759
S50R49,5F0,5	246	401	618	1175
S50R49F1	311	465	475	1209
S70R29,5F0,5	183	217	312	1230
S70R29F1	205	201	205	958

Legenda: (\*) dados de Nascimento (2019).

Fonte: Acervo pessoal.

Aos 7 dias de cura, a RCS máxima dos compósitos S50R49,5F0,5, S50R49F1 e S70R29F1 superou à resistência do solo (182 kPa) e, dentre esses compósitos, a maior resistência foi registrada para o S50R49F1, que atingiu o valor de 311 kPa, proporcionando um ganho de resistência de 130 kPa, aproximadamente.

O compósito S50R49F1 também apresentou o melhor resultado de RCS máxima, aos 28 dias de cura, com o valor de 465 kPa. Já os compósitos S50R49,5F0,5, S70R29F1 e S70R29,5F0,5 obtiveram resistências inferiores à do solo (380 kPa) e o pior desempenho foi registrado para o compósito S70R29F1, com resistência de 119 kPa.

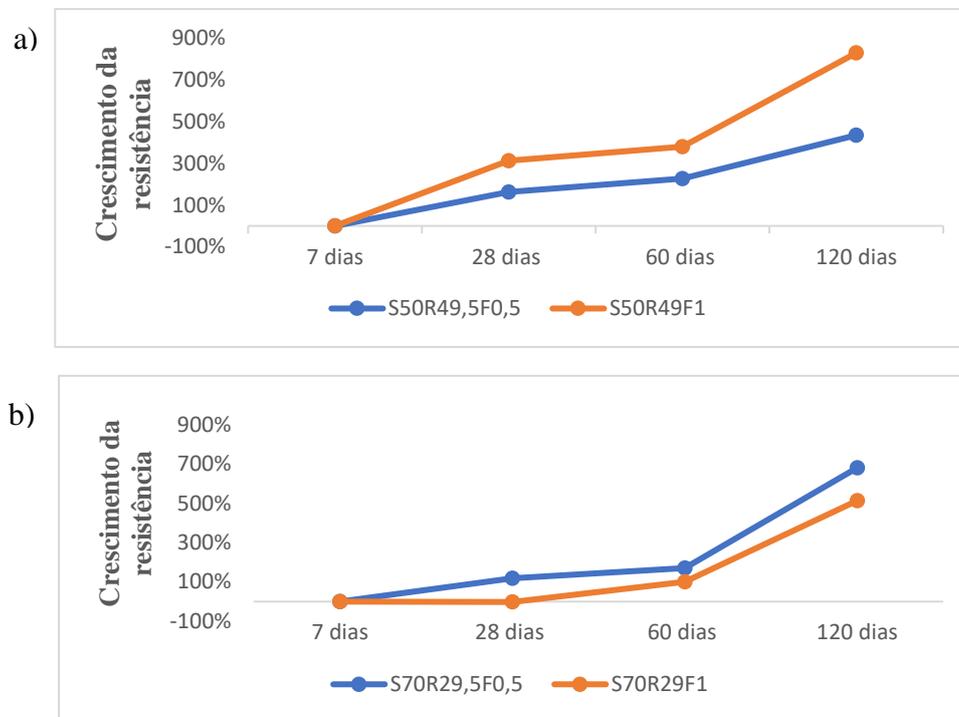
Oliveira (2011) utilizou fibras de coco babaçu na produção de blocos de solo-cimento. Os resultados obtidos mostraram que as fibras melhoram o comportamento mecânico do material, visto que o bloco sem reforço apresentava, aos 28 dias, resistência à compressão simples de 6,06 Mpa e o reforçado com 3% de fibra atingiu resistência de 8,39 Mpa, com um incremento observado de 39%.

Os compósitos reforçados com resíduos atingiram valores insatisfatórios de RCS máxima aos 60 dias de cura, pois os valores foram inferiores a resistência de 633 kPa obtida pelo solo natural, com reduções variando de 73 kPa a 428 kPa. Aos 120 dias, a RCS máxima dos compósitos variou entre 958 kPa a 1230 kPa, valores próximos e/ou superiores a resistência de 993 kPa atingida pelo solo.

Os resultados do ensaio de RCS mostram que, nos compósitos reforçados com resíduos, a resistência à compressão varia gradualmente entre os tempos de cura, com ganhos máximos de 100 kPa, mas que a resistência máxima varia de forma abrupta dos 60 aos 120 dias, com ganhos de até 918 kPa. Constatando-se que os 120 dias de cura é período recomendado para que a pozolana presente no RCC reaja com a água do compósito e ocasiona a cimentação do material.

Observando a linha de crescimento dos percentuais da RCS dos compósitos de solo-RCC-fibra (Figura 5.10), é possível notar que nos compósitos preparados com 50% de solo houve um ganho maior de resistência nas idades iniciais, entre os 7 e 28 dias.

Figura 5.10 – Crescimento percentual da RCS dos compósitos de solo-RCC-fibra



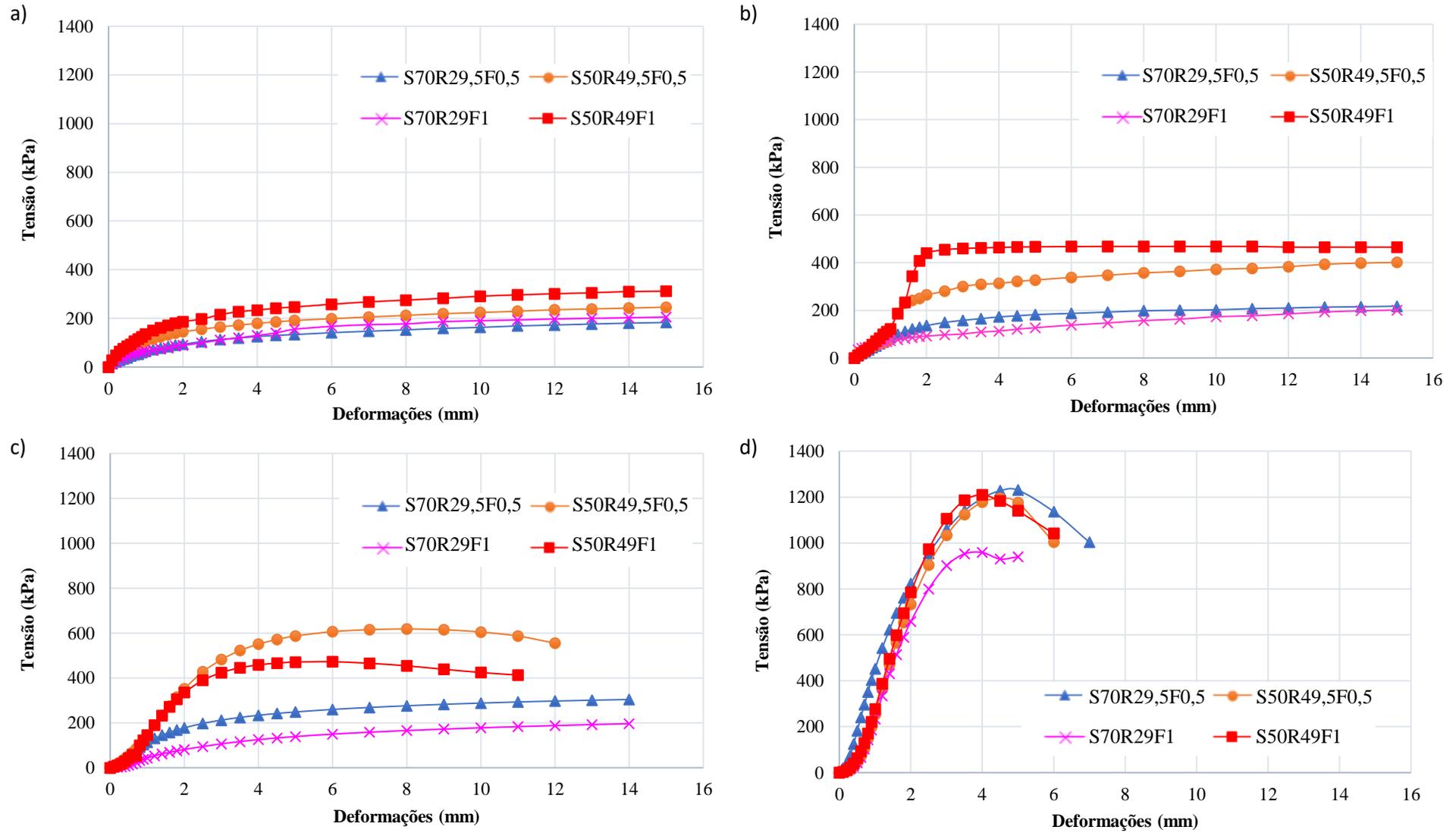
Legenda: a) compósitos com 50% de solo; b) compósitos com 70% de solo.

Fonte: Acervo pessoal.

Analisando os resultados obtidos nos ensaios de compactação e de resistência à compressão (aos 120 dias de cura), verifica-se que o reforço de RCC e fibra de coco babaçu provocou aumento no valor da densidade seca máxima e aumento na resistência do solo, confirmando a relação entre essas propriedades mecânicas dos materiais.

As curvas dos compósitos de solo-RCC-fibra não apresentaram ponto de pico de tensão, dos 7 aos 60 dias de cura. No entanto, as curvas para os 120 dias atingiram uma elevada tensão nos primeiros 4 mm de deformação, quando comparadas aos demais tempos de cura, e em seguida essa tensão sofreu decréscimo, conforme Figura 5.11.

Figura 5.11 – Curvas de Tensão x Deformação dos compósitos solo-RCC-fibra



Legenda: a) 7 dias de cura; b) 28 dias de cura; c) 60 dias de cura; d) 120 dias de cura. Fonte: Acervo pessoal.

### 5.3.2.2 Compósitos de solo-fibra

Os compósitos de solo-fibra obtiveram valores de resistência à compressão praticamente constantes ao longo dos tempos de cura. A resistência média atingida pelos compósitos S99F1 e S99,5F0,5 foi de aproximadamente 500 kPa e 617 kPa, nessa ordem, como demonstrado na Tabela 5.8.

Tabela 5.8 – Valores de resistência à compressão simples máxima dos compósitos de solo-fibra

<b>Amostra</b>	<b>7 dias (kPa)</b>	<b>28 dias (kPa)</b>	<b>60 dias (kPa)</b>	<b>120 dias (kPa)</b>
Solo*	182	380	633	993
RCC*	132	147	540	759
S99F1	499	502	502	503
S99,5F0,5	408	648	707	706

Legenda: (\*) dados de Nascimento (2019).

Fonte: Acervo pessoal.

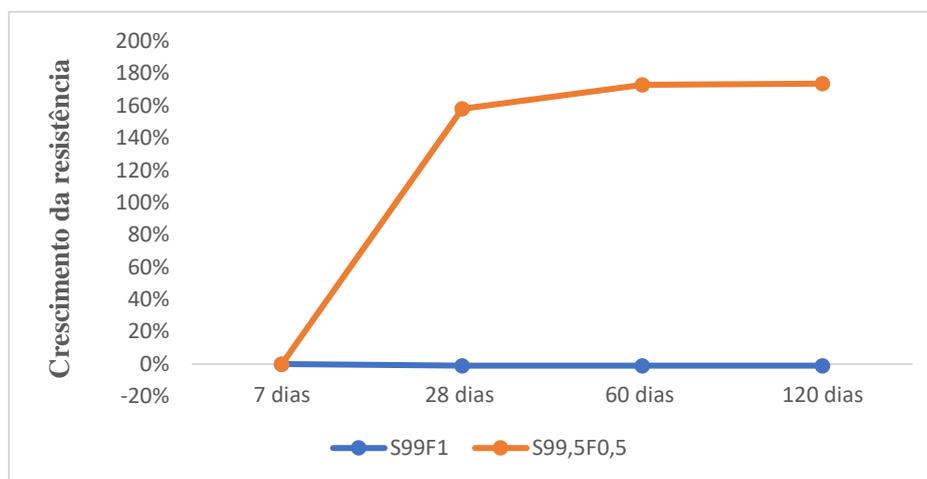
Ao se observar a RCS máxima do compósito S99F1, é possível notar uma insignificante variação dos 7 aos 120 dias. Para os dois tempos iniciais de cura (7 e 28 dias), a resistência obtida pelo solo foi inferior à do compósito, sendo de 182 kPa e 380 kPa, respectivamente. Contudo, aos 60 e 120 dias, o solo apresentou resistência superior, registrando-se valores de 633 kPa e 933 kPa.

Comparando-se com o solo natural, o compósito S99,5F0,5 apresentou ganhos de resistência à compressão de 226 kPa (7 dias), 268 kPa (28 dias) e 74 kPa (60 dias), porém a resistência máxima do compósito foi inferior à do solo ao atingir os 120 dias de cura, observando-se uma redução de 287 kPa.

Carvalho (2019) estudou a viabilidade da utilização de fibra de coco babaçu em formulações de tijolo solo-cimento, com teores de adicção de 0,5% e 1% de fibra. O autor verificou aumentos superiores a 200 kPa na RCS dos tijolos, dos 7 aos 28 dias de cura, resultado similar ao encontrado nesse estudo. Contudo o autor não analisou a RCS para outros tempos de cura.

Na Figura 5.12 são apresentadas as linhas de crescimento dos percentuais da RCS dos compósitos de solo-fibra e se observa o distinto comportamento entre os compósitos. Percebe-se que a adicção de 1% de fibras de coco babaçu, com 30 mm de comprimento, provoca perda de resistência nos diferentes tempos de cura, sendo a mistura não recomendada para fins de melhoria da RCS.

Figura 5.12 – Crescimento percentual da RCS dos compósitos de solo-fibra

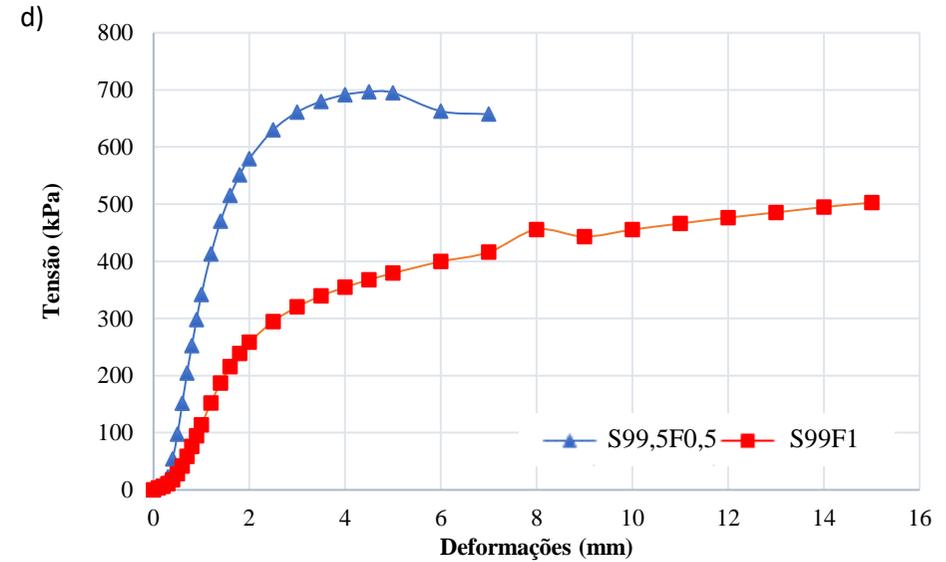
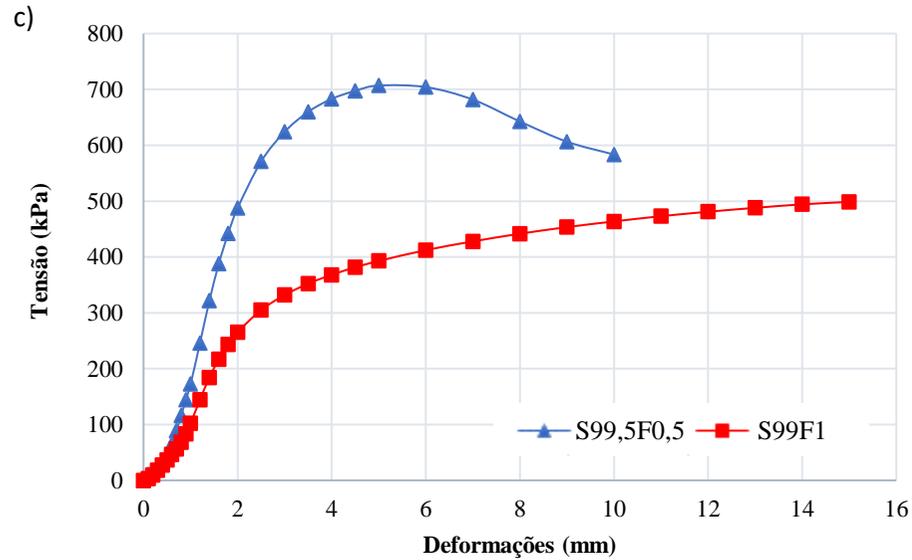
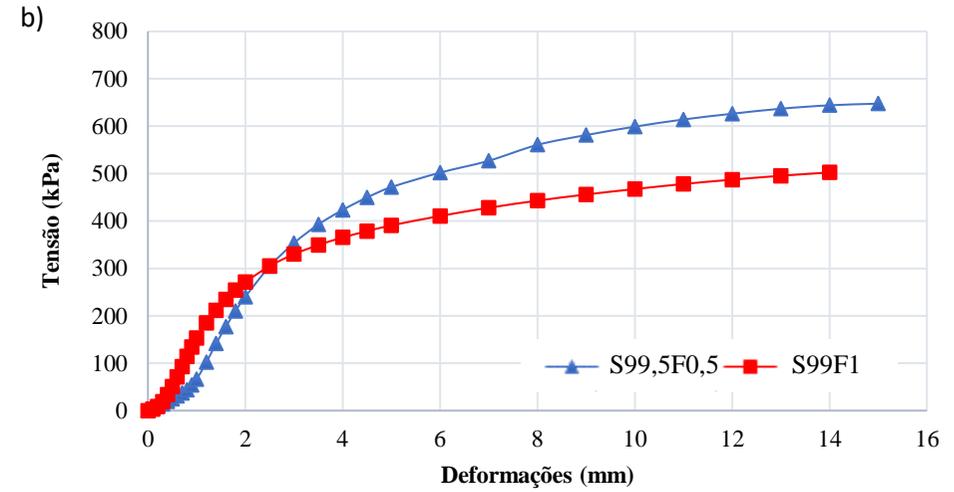
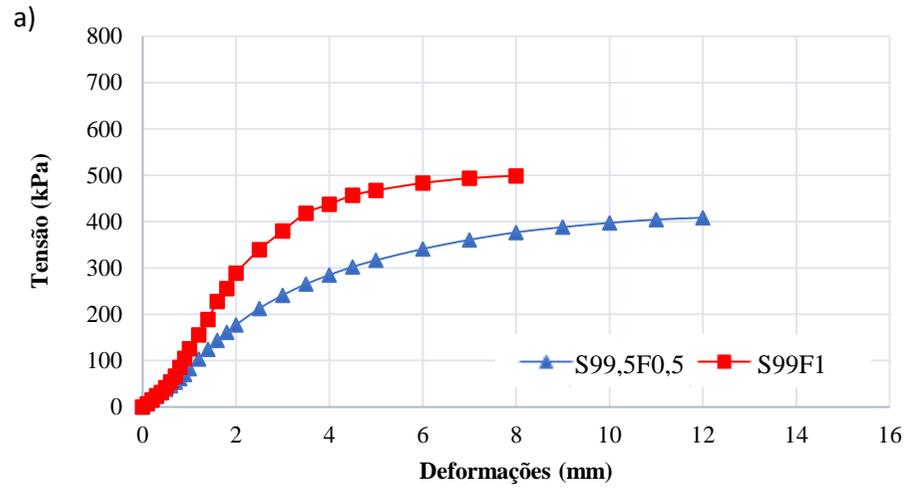


Fonte: Acervo pessoal.

As curvas mostram que o solo reforçado com fibras de babaçu não apresenta ponto de pico de tensão (Figura 5.13), tanto para os teores de incorporação de 0,5% e 1%, em geral. Maliakal e Thiyyakkandi (2012) também verificaram que fibras de coco nos compósitos de solo provocam parcelas de estresse-deformação de desvio, até o estado de falha de manutenção convencional (20% de tensão).

Foi verificado um grande incremento na resistência dos compósitos de solo-fibra ao atingirem 2 mm de deformação e que, em seguida, a resistência se manteve praticamente constante. Babu e Chouksey (2010) perceberam que na modelação do comportamento do solo reforçado com fibras, pode-se supor que a taxa de tensão aumenta e, subsequentemente, torna-se constante mesmo que as cargas compressivas continuem aumentando.

Figura 5.13 – Curvas de Tensão x Deformação dos compósitos solo-fibra

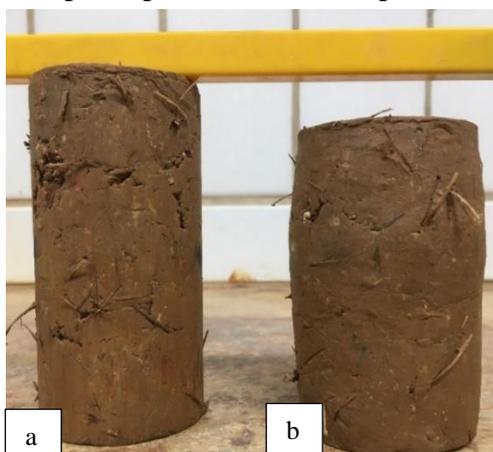


Legenda: a) 7 dias de cura; b) 28 dias de cura; c) 60 dias de cura; d) 120 dias de cura. Fonte: Acervo pessoal.

### 5.3.2.3 Deslocamento axial

Durante o ensaio de resistência à compressão simples, verificou-se um deslocamento axial dos corpos de prova (CP) devido a aplicação da carga compressiva (Figura 5.14). Contudo não foram observadas falhas na estrutura nos compósitos de solo-RCC-fibra para os tempos de cura dos 7 aos 28 dias, tendo sido identificado comportamento similar nos compósitos de solo-fibra aos 28 dias de cura.

Figura 5.14 – Aspectos do corpo de prova antes (a) e após (b) o ensaio de compressão simples



Fonte: Acervo pessoal.

O deslocamento axial dos CP's pode ser explicado pela mudança do comportamento do compósito. Segundo Dakasa e Sumesh (2011) e Kar, Pradhan e Naik (2014) à medida que se incorporada as fibras de coco em solos, as falhas ocorreram lentamente e a amostra passa a se comportar como um material dúctil, deixando de apresentar um comportamento frágil e planos de ruptura na superfície.

Figura 5.15 – Plano de ruptura em corpo de prova após compressão

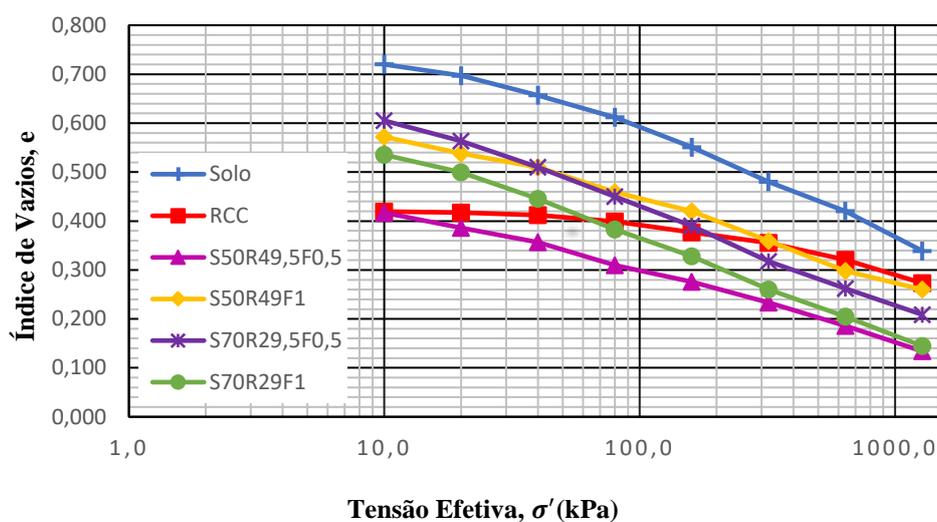


Fonte: Acervo pessoal.

### 5.3.3 Adensamento unidimensional

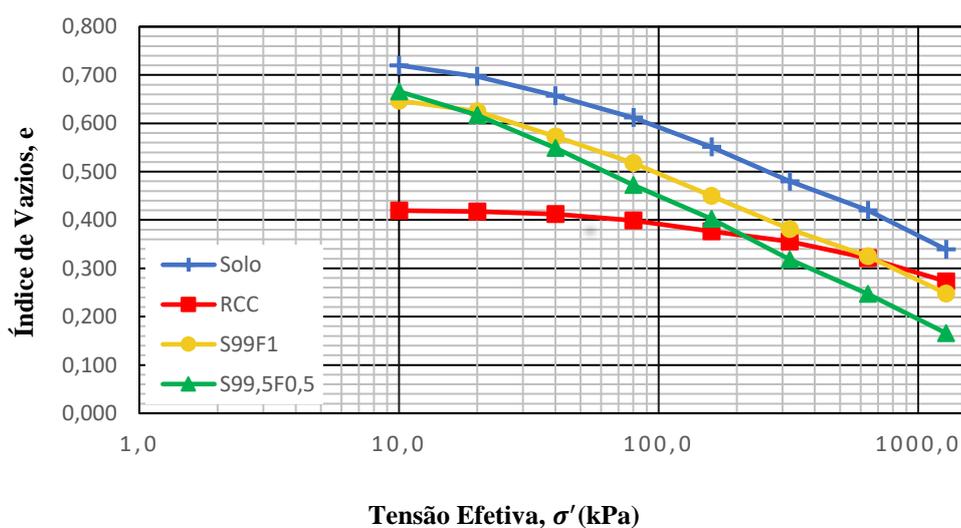
Na Figuras 5.16 e 5.17 são apresentadas as curvas tensão vertical *versus* índice de vazios obtidas no adensamento unidimensional do solo, do RCC e dos compósitos, tendo-se realizado o ensaio apenas para a condição inundada.

Figura 5.16 – Curva índice de vazios x Tensão efetiva do solo, RCC e compósitos solo-RCC-fibra



Fonte: Acervo pessoal.

Figura 5.17 – Curva índice de vazios x Tensão efetiva do solo, RCC e compósitos solo-fibra



Fonte: Acervo pessoal.

As curvas índice de vazios *versus* tensão efetiva do solo e dos compósitos apresentaram formatos parecidos, com gradativas quedas de rigidez à medida em que se aumentava tensão efetiva. Para a curva do RCC se observou um comportamento distinto, de modo que a queda de rigidez foi mais evidente a partir da tensão de 300 kPa.

Ainda observando o comportamentos das curvas índice de vazios *versus* tensão efetiva, é possível notar que os compósitos de solo-fibra (S99F1 e S99,5F0,5) apresentaram  $e_0$  muito próximos e que houve o encontro das curvas no trecho de compressão secundária onde a tensão efetiva ( $\sigma'$ ) estava entre 20 kPa a 30 kPa, resultando na similaridade no comportamento das curvas para esse trecho.

A adição dos diferentes teores de RCC e fibras de coco babaçu no solo paraticamente não provocou redução na inclinação da reta de compressão virgem. Isto significa que a adição dos materiais não aumentou a compressibilidade dos compósitos, resultado este que difere de Oliveira Júnior (2018), o qual observou que quanto maior o teor de incorporação fibra de coco verde maior a inclinação da reta de compressão virgem.

Na tabela 5.9 são apresentados os índices de vazios iniciais ( $e_0$ ) e finais ( $e_f$ ) dos materiais, os teores de porosidade inicial ( $\eta_0$ ) e final ( $\eta_f$ ), bem como a diferença entre estes valores.

Tabela 5.9 – Variação dos índices de vazios e teores de porosidade do solo, RCC e compósitos obtidos no ensaio de adensamento unidimensional

Amostra	$e_0$	$e_f$	$\Delta e$	$\eta_0$	$\eta_f$	$\Delta \eta$ (%)
Solo	0,720	0,339	0,381	42%	25%	- 17
RCC	0,421	0,273	0,148	30%	21%	- 8
S50R49,5F0,5	0,479	0,134	0,345	32%	12%	- 21
S50R49F1	0,572	0,260	0,312	36%	21%	- 16
S70R29,5F0,5	0,676	0,209	0,467	40%	17%	- 23
S70R29F1	0,589	0,144	0,445	37%	13%	- 24
S99F1	0,647	0,248	0,399	39%	20%	- 19
S99,5F0,5	0,667	0,166	0,501	40%	14%	- 26

Fonte: Acervo pessoal.

O compósito S99,5F0,5 foi o material que mostrou a maior variação volumétrica em função do aumento da tensão efetiva ( $\sigma'$ ), de modo que o índice de vazios inicial ( $e_0$ ) de 0,667 foi reduzido para 0,166 ( $e_f$ ), ao atingir 1280 kPa. Já o RCC apresentou a menor redução volumétrica, sendo  $e_0$  de 0,421 e  $e_f$  de 0,148.

Foi observado que a medida em que o teor de incorporação de RCC era aumentado, o índice de vazios dos compósitos era reduzido. Assim, percebe-se que materiais finos (argilosos) possuem um índice de vazios maior do que os materiais mais grossos (areias). Lafayette (2006) verificou a correlação linear entre as propriedades físicas do solo e constatou que solos argilosos apresentam índice de vazios em torno de 0,86 e areias apresentam índice de 0,31.

O compósito S50R49,5F0,5 obteve o menor índice de vazios inicial ( $e_0$ ) e final ( $e_f$ ) dentre todos os outros compósitos ensaiados. Esse resultado pode ser justificado pelo efeito coesivo que as fibras de coco babaçu proporcionam ao material. Wu *et al.* (2018) também verificaram esse efeito com a adição de fibras de sisal em um solo argiloso.

Por sua vez, o compósito S50R49,5F0,5 também resultou nos menores teores de porosidade inicial ( $\eta_0$ ) e final ( $\eta_f$ ), sendo de 32% e 12%, respectivamente, o que significa uma redução de 21% na porosidade do compósito. Em seguida, tem-se o compósito S70R29F1 com  $\eta_0$  de 37% e  $\eta_f$  de 13%, garantindo assim 24% de redução no teor porosidade.

Na tabela 5.10 se apresenta o parâmetro de compressibilidade, índice de compressão (Cc), obtido através das curvas das Figuras 5.16 e 5.17. Verifica-se que os compósitos apresentaram Cc menores que o valor obtido para o solo natural, com reduções entre 0% a 57%, aproximadamente.

Tabela 5.10 – Índice de compressão (Cc) do solo natural e dos compósito

Amostra	Cc	$\Delta$ de Cc
Solo	0,227	-
RCC	0,017	-
S50R49,5F0,5	0,098	57%
S50R49F1	0,149	34%
S70R29,5F0,5	0,178	22%
S70R29F1	0,178	22%
S99F1	0,203	11%
S99,5F0,5	0,226	$\approx$ 0%

Fonte: Acervo pessoal.

No que se refere ao índice de compressão (Cc) se observa que houve reduções de 57% a 11% à medida em que se incorporava RCC e/ou fibras de coco babaçu nos compósitos, exceto para o S99,5F0,5 que atingiu o mesmo Cc obtido pelo solo, aproximadamente. Cabe ressaltar que a maior redução do Cc foi registrada para o compósito S50R49,5F0,5.

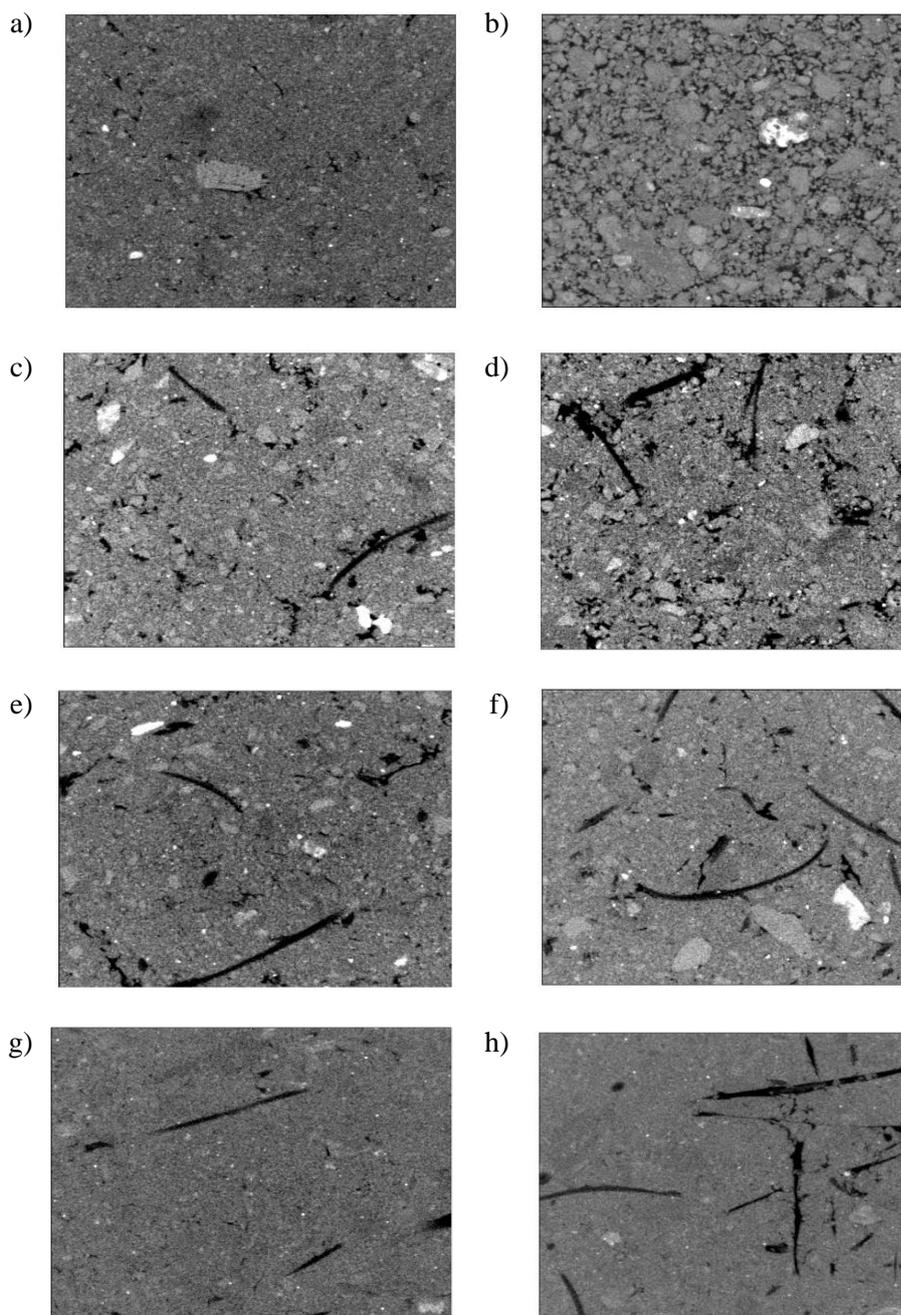
Oliveira Júnior (2018) verificou que compósitos de solo argiloso reforçado com 0,5% e 1% fibra de coco verde apresentaram Cc de 0,218 e 0,256, respectivamente. Os resultados do autor são próximos os valores de 0,203 e 0,226 encontrados para o Cc dos compósitos S99F1 e S99,5F0,5.

Em relação ao comportamento dos materiais durante período de saturação, constatou-se que o solo e os compósitos, por conseguinte, possuíam caráter expansivo com deformações em relação a altura do corpo de prova de 0,8mm a 1,46mm, confirmando os resultados obtidos por Nascimento (2019) durante caracterização do solo.

#### 5.4 Caracterização por Tomografia Computadorizada

Por meio das imagens de alta resolução da tomografia computadorizada, foi realizada uma comparação qualitativa da porosidade entre as amostras do solo, RCC e compósitos. Na Figura 5.18, os pontos escuros representam os poros, os pontos brancos são frangmentos de rocha e, ainda, se observa a distribuição das fibras nos compósitos.

Figura 5.18 – Imagens obtidas por tomografia computadorizada



Legenda: a) amostra do solo; b) amostra do RCC; c) compósito S50R49,5F0,5; d) compósito S50R49F1; e) compósito S70R29,5F0,5; f) compósito S70R29F1; g) compósito S99F1; h) compósito S99,05F0,5.

Fonte: Acervo pessoal.

Com a utilização do software ImageJ foi possível calcular o teor de porosidade ( $\eta$ ) para o solo, RCC e compósitos, conforme descrito na Tabela 5.11.

Tabela 5.11 – Teores de porosidade do solo, RCC e compósitos obtidos no ensaio de tomografia computadorizada

<b>Amostra</b>	<b>Teor de porosidade (<math>\eta</math>)</b>
Solo	27%
RCC	24%
S50R49,5F0,5	12%
S50R49F1	23%
S70R29,5F0,5	19%
S70R29F1	15%
S99F1	18%
S99,5F0,5	15%

Fonte: Acervo pessoal.

Nos compósitos de solo-fibra S99F1 e S99,5F0,5, ficou evidenciado que quanto maior a concentração de fibra maior é o seu percentual da porosidade do compósito, resultado também observado por Oliveira Júnior (2018). Desse modo, verificou-se que a variação no teor de fibras de 0,5% para 1% provocou aumento de 17% na porosidade.

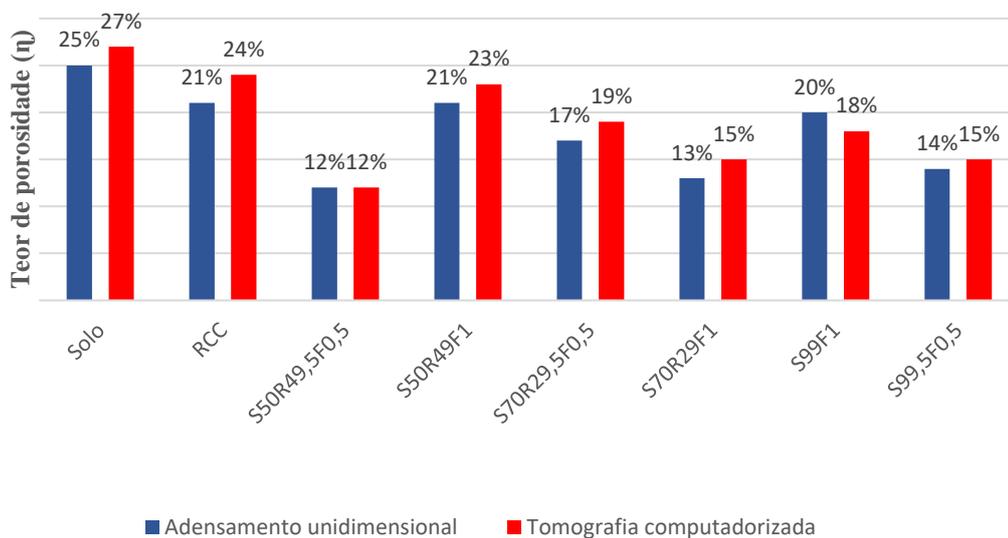
A porosidade dos compósitos S50R49F1 e S70R29,5F0,5 foi de 23% e 19%, respectivamente, os maiores percentuais dentre os compósitos ensaiados. Fuji (2012) estudou o comportamento da mistura solo-RCC-cal para uso em obras rodoviárias e verificou que o aumento do índice de vazios e da porosidade do solo se devia, em parte, à presença do agregado reciclado, corroborando os resultados encontrados.

Em posse dos resultados do ensaio de TC, considerou-se que todos os compósitos são recomendados para a redução de poros do solo estudado visto que os seus percentuais de porosidade são inferiores ao do próprio solo, contudo o compósito S50R49,5F0,5 é o mais indicado.

A análise do teor de porosidade dos materiais a partir da TC de raio-x ainda permitiu verificar que o solo foi o material que atingiu o maior percentual com 27%, registrando-se o menor percentual para o compósito S50R49,5F0,5, sendo de 12%. Esse resultado está em conformidade com as observações feitas durante o ensaio de adensamento unidimensional.

Os teores de porosidade encontrados nos ensaios de TC e adensamento unidimensional se mostraram próximos com variações de  $\pm 3\%$ , de acordo com o demonstrado na Figura 5.19.

Figura 5.19 – Comparativo entre os teores de porosidade obtidos nos ensaios de adensamento unidimensional e tomografia computadorizada



Fonte: Acervo pessoal.

Assim torna-se possível comparar os resultados obtidos pelo método mecânico (adensamento) aos resultados do ensaio não destrutivo de TC, ainda não padronizado para fins geotécnicos, assegurando que este último fornece dados com uma margem de confiança tolerável e de modo que podem ser obtidos em menor tempo, agilizando e/ou reduzindo a duração de ensaios laboratoriais.

## 6 CONCLUSÕES

Com a utilização da ferramenta rede de interações para avaliação de impacto ambiental e mapas uso e ocupação do solo, técnica do sensoriamento remoto, foi possível identificar que o indicador ambiental “tipo de ocupação” apresentou grau de risco ambiental “médio” na área da encosta estudada.

Os indicadores “evidências de colapso”, “adensamento urbano” e “redução vegetal” foram classificados como de “alto” risco, devido a condicionantes que favorecem a ocorrência de acidentes geotécnicos ou hidráulicos graves.

Características de processos erosivos já podem ser percebidos na localidade estudada. Assim, impactos ambientais negativos precisam ser medidos e monitorados em uma escala temporal e espacial para ajudar no planejamento urbano e tomada de decisões por parte do setor público quanto ao tipo de solução mitigatória seria mais eficiente a degradação ambiental verificada.

Por meio de modelos matemáticos, foi previsto que em 2028 haverá um crescimento da mancha urbana, da área de solo exposto e do sistema viário na região da encosta, e a área ocupada pela vegetação será reduzida. No entanto, foi percebido que o crescimento urbano tenderá a se estabilizar, por falta de áreas propícias a construção, e que surgirão novos pontos sujeitos à erosão, cabendo intervenção pública em curto prazo de tempo.

Foi realizada a classificação do solo da encosta para melhor compreender a sua susceptibilidade à processos erosivos. Conforme o SUCS, o solo é uma argila inorgânica de alta plasticidade e, ainda, é sabido que solos com partículas leves são mais fáceis de serem carregados pela chuva e pelo escoamento superficial, caracterizando assim a encosta como uma área de risco.

É importante considerar que a adição de RCC e fibras no melhoramento de solo apresentam ganhos na resistência à compressão simples de 182 kPa a 237 kPa aos 120 dias, quando comparado ao solo natural, indicando que a técnica é efetiva e benéfica às propriedades mecânicas do solo. Os melhores materiais ensaiados foram os compósitos S70R29,5F0,5 (70% solo + 29,5% RCC + 0,5% fibras de coco babaçu) e S50R49F1 (50% solo + 49% RCC + 1% fibras de coco babaçu), com resistências de 1230 kPa e 1209 kPa respectivamente.

Com a realização desse estudo foi percebido que a utilização de resíduo da construção civil (RCC) e fibras de coco babaçu no reforço de solo apresenta resultados favoráveis quanto a

redução de vazios presentes no solo. Essa redução aponta para um melhor comportamento do solo frente à erosão provocada por ação da água. Assim, o compósito S50R49,5F0,5 foi o que apresentou o menor índice de vazios inicial (0,479) e final (0,1364) dentre todos os outros compósitos, garantindo 21% de redução na porosidade.

Por fim, foi possível verificar que o ensaio de tomografia computadorizada de raios-x pode ser utilizado em estudos geotécnicos no que tange a determinação da porosidade dos materiais e que o ensaio fornece resultados comparáveis ao ensaio de adensamento unidimensional, com variações de  $\pm 3\%$ .

## 7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Diante dos resultados deste trabalho, sugerem-se algumas possibilidades de investigações para trabalhos futuros, como:

- Investigar o desempenho físico-mecânico de compósitos com fibras de coco babaçu em teores de 0,5% e 1,0% e comprimentos respectivos de 25 mm e 15 mm, conforme identificado na correlação entre teor e comprimento ideal das fibras naturais;
- Analisar o comportamento das curvas de densidade seca máxima *versus* teor de umidade do solo, do RCC e dos compósitos para compactações em umidades acima e abaixo da ótima;
- Identificar os parâmetros de compressibilidades para o solo, RCC e compósitos, em especial o índice de descompressão ( $C_d$ ), com o intuito de observar o potencial de deformação sofrida pelos materiais após o alívio da tensão efetiva, em condições inundada e não inundada;
- Realizar ensaios físicos e mecânicos do solo, RCC e compósitos a partir da tomografia computadorizada de raios-x com o objetivo de localizar defeitos e vazios, a densidade do material, distribuição espacial do conteúdo de água, bem como a retenção e movimento da água;
- Testar o desempenho dos compósitos ao longo do tempo por meio de ensaios laboratoriais de envelhecimento, avaliando o desenvolvimento de microfaunas no solo devido a deterioração da fibra natural.

## REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12007**: Solo - Ensaio de adesamento unidimensional - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1990.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12770**: Solo coesivo - Determinação da resistência à compressão não confinada - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1992.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15113**: Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Aterros – Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15114**: Resíduos sólidos da construção civil – Áreas de reciclagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15115**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15116**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457**: Amostras de solo — Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 2016.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: Solo – Análise Granulométrica. Rio de Janeiro, 2016.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459**: Solo – Determinação do Limite de Liquidez. Rio de Janeiro, 2016.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180**: Solo — Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 2016.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182**: Solo - Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 2016.

AGUILAR-PENAGOS, A.; GÓMEZ-SOBERÓN, J.; ROJAS-VALENCIA, M. Physicochemical, mineralogical and microscopic evaluation of sustainable bricks manufactured with construction wastes. **Applied Sciences**, v. 7, n. 10, p. 1012, 2017. doi:10.3390/app710101.

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Bacia de Pernambuco - Paraíba**: sumário geológico e setores de oferta. Superintendência de Definição de Blocos – SDB, 2019. Disponível em:

[http://rodadas.anp.gov.br/arquivos/Bienio/Mapas\\_R16/Sumario\\_Geologico\\_R16\\_Pernambuco\\_Paraiba.pdf](http://rodadas.anp.gov.br/arquivos/Bienio/Mapas_R16/Sumario_Geologico_R16_Pernambuco_Paraiba.pdf). Acesso em: 25 jun. 2019.

AKHTAR, A.; SARMAH, A. K. Construction and demolition waste generation and properties of recycled aggregate concrete: A global perspective. **Journal of Cleaner Production**, v. 186, p. 262–281, 2018. doi:10.1016/j.jclepro.2018.03.085.

ALBERTÃO, G. A.; MARTINS JUNIOR, P. P. **Estratos Calcários da Pedreira Poty (Paulista), PE**: Evidências de evento catastrófico no primeiro registro do limite K-T descrito na América do Sul. Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), 2006.

ALBIERO, D.; MACIEL, A. J. D. S.; LOPES, A. C.; MELLO, C. A.; GAMERO, C. A. Proposta de uma máquina para colheita mecanizada de babaçu (*Orbignya phalerata* Mart.) para a agricultura familiar. **Acta amazônica**, p. 337-346, 2007.

AMADEI, D. I. B.; PEREIRA, J. A.; SOUZA, R. A. D.; MENEGUETTI, K. S. A questão dos resíduos de construção civil: um breve estado da arte. **Revista Nupem**, v. 3, n. 5, p. 185-199, 2012.

ANDRADE, J. N. **Configuração urbana e escalas de (ir)regularidade na orla marítima da Ilha de Itamaracá-PE**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2018.

ANGGRAINI, V. Potential of coir fibres as soil reinforcement. **Pertanika Journal of Scholarly Research Reviews**, v. 2, n. 1, 2016. Disponível em: <http://pjsrr.upm.edu.my/index.php/pjsrr/article/view/19/18>. Acesso em: 24 nov. 2018.

ANGGRAINI, V.; ASADI, A.; FARZADNIA, N.; JAHANGIRIAN, H.; HUAT, B. B. K. Effects of coir fibres modified with Ca (OH) 2 and Mg (OH) 2 nanoparticles on mechanical properties of lime-treated marine clay. **Geosynthetics International**, v. 23, n. 3, p. 206-218, 2016. doi: 10.1680/jgein.15.00046.

ANGGRAINI, V.; ASADI, A.; HUAT, B. B.; NAHAZANAN, H. Effects of coir fibers on tensile and compressive strength of lime treated soft soil. **Measurement**, v. 59, p. 372-381, 2015. doi:10.1016/j.measurement.2014.09.059.

APAC - AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA. **Monitoramento Pluviométrico**. 2019. Disponível em: <<http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramentopluvio.php>>. Acesso em: 19 jul. 2019.

ARAÚJO, E. A.; LANI, J. L.; AMARAL, E. E.; GUERRA, A. Uso da terra e propriedades físicas e químicas de Argissolo Amarelo distrófico na Amazônia Ocidental. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, 28(2), 307-315, 2004.

ARIZA, C. G.; ARAÚJO NETO, M. D. **Contribuições da geografia para avaliação de impactos ambientais em áreas urbanas, com o emprego da metodologia Pressão-Estado Impacto-Resposta (PEIR)**. 2010. Disponível em: <<http://repositorio.unb.br/handle/10482/24742>>. Acesso em: 20 jul. 2019.

ASIM, N.; EMDADI, Z.; MOHAMMAD, M.; YARMO, M. A.; SOPIAN, K. Agricultural solid wastes for green desiccant applications: an overview of research achievements, opportunities and perspectives. **Journal of Cleaner Production**, v. 91, p. 26–35, 2015. doi: 10.1016/j.jclepro.2014.12.015.

ASSIS, A. S. Utilização de resíduos de construção e demolição (RCD) como agregados na produção de concretos. In: Congresso Técnico Científico de Engenharia e da Agronomia - CONTECC' 2015. **Anais [...]** Fortaleza: UTFPR, 2015.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **C618-19**: Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete, West Conshohocken: ASTM International, 2019.

AZEVEDO, N. H.; MARTINI, A. M. Z.; OLIVEIRA, A. A.; SCARPA, D. L.; PETROBRAS: USP, IB, LabTrop/BioIn (org.). **Ecologia na restinga: uma sequência didática argumentativa**. 1 ed. São Paulo: Edição dos autores, 2014. 140p.

BABU, G. S.; CHOUKSEY, S. K. Model for analysis of fiber-reinforced clayey soil. **Geomechanics and Geoengineering**, v. 5, n. 4, p. 277-285, 2010. doi:/10.1080/17486021003706804.

BALAMURUGAN, G.; SRIDHARA ARAVIND, M. Land use land cover changes in pre-and post-earthquake affected area using Geoinformatics–Western Coast of Gujarat, India. **Disaster Advances**, v. 8, n. 4, p. 1-14, 2015.

BERTOLO, L. A. **Um manual de estatística**. Anotações de aula. Administração financeira. Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Caruaru, Pernambuco, 2012.

BEZERRA, J. S. **Análise do processo erosivo de uma encosta no bairro de Bom Jesus - Ilha de Itamaracá/PE**. Qualificação (Doutorado). Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Recife, 2018.

BIS - BANK FOR INTERNATIONAL SETTLEMENTS. **Triennial Central Bank Survey**: Report on global foreign exchange market activity in 2010. Monetary and Economic Department: Basel, Suíça. 2010.

BORDOLOI, S.; KASHYAP, V.; GARG, A.; SREEDEEP, S.; WEI, L.; ANDRIYAS, S. Measurement of mechanical characteristics of fiber from a novel invasive weed: A comprehensive comparison with fibers from agricultural crops. **Measurement**, v. 113, p. 62-70, 2018. doi: 10.1016/j.measurement.2017.08.044.

BORGES, L. A. B.; VIANA, G. A. S.; LOBATO, M. F. Estudo de viabilidade da produção de tijolos solo-cimento com resíduos de construção civil e a fibra de coco babaçu. In: VI Semana de Engenharia do Maranhão. **Anais [...]** São Luis: CREAMA, 2018.

BOTERO-ACOSTA, A.; CHU, M. L.; GUZMAN, J. A.; STARKS, P. J.; MORIASI, D. N. Riparian erosion vulnerability model based on environmental features. **Journal of environmental management**, v. 203, p. 592-602, 2017. doi:10.1016/j.jenvman.2017.02.045.

BRANDI, J. L. G. **Previsibilidade e controle de recalques em radiers sobre solo mole. Curitiba.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Paraná, 2004.

BRÁS, J. M. P. **O uso de técnicas de jet-grouting ou similares em escavações em solos argilosos moles.** 2009.

BRASIL, Lei Nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 03 out. 2010. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato20072010/2010/Lei/L12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato20072010/2010/Lei/L12305.htm). Acesso em 10 abr. 2019.

BRASIL, Ministério do Planejamento. **Programa de aceleração do crescimento – PAC.** 2007. Disponível em: <https://pac.gov.br/sobre-o-pac>. Acesso em: 22 jan. 2020.

BRITO, J. **Técnicas de melhoramento de solos.** Dissertação (Mestrado). Instituto Superior Técnico, Programa de Pós-Graduação Construção e Reabilitação. 2002.

CACB - CONFEDERAÇÃO DAS ASSOCIAÇÕES COMERCIAIS E EMPRESARIAIS DO BRASIL. **PIB brasileiro cresce 1,0% em 2017, após 2 anos de retração.** 2018. Disponível em: <https://cacb.org.br/pib-brasileiro-cresce-10-em-2017-apos-2-anos-de-retracao/>. Acesso em: 10 feb. 2019.

CANDIDO, J. J. **Turismo e impactos socioambientais: uma proposta de gestão pública sob o prisma da sustentabilidade para a Ilha de Itamaracá – Pernambuco.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Recife, 2017.

CARNEIRO, M. C. D. S. M.; GREGÓRIO, M. D. N.; LIMA, J. P.; GALDINO, C. A. P. D. M. Monitoramento cartográfico da linha de costa ao sul da Ilha de Itamaracá. **In: V Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**, 2014.

CARRAZZA, L. R.; SILVA, M. L da; AVILA, J. C. C. **Manual tecnológico de aproveitamento integral do fruto e da folha do babaçu.** Instituto Sociedade, População e Natureza (ISPN). Brasília – DF. 2012.

CARVALHO, J. B. Q. **Fundamentos da Mecânica dos Solos.** Campina Grande: Marcone. 2004. 310 p.

CARVALHO, R. S. S. **Estudo da viabilidade da utilização da fibra de coco babaçu em formulações de tijolo de solo-cimento.** Dissertação (Mestrado). Instituto Federal do Piauí, Programa de Pós-Graduação em Engenharia dos Materiais, Teresina, 2019.

CARVALHO, D. F.; SOUZA, W. J.; PINTO, M. F.; OLIVEIRA, J. R.; GUERRA, J. G. M. Perdas de água e solo sob diferentes padrões de chuva simulada e condições de cobertura do solo. **Engenharia Agrícola Jaboticabal**, Jaboticabal, v. 32, n. 4, p. 708-717, 2012.

CERRATINGA. **Babaçu:** Espécie do cerrado. 2018. Disponível em: <http://www.cerratinga.org.br/babacu/>. Acesso em: 04 nov. 2018.

CHAPLE, P. M.; DHATRAK, A. I. Performance of coir fiber reinforced clayey soil. **The International Journal of Engineering and Science**, v. 2, n. 4, p. 54-64, 2013. Disponível em: < [http://theijes.com/papers/v2-i4/part.%20\(5\)/J0245054064.pdf](http://theijes.com/papers/v2-i4/part.%20(5)/J0245054064.pdf)>. Acesso: 10 jan. 2019.

CHICA-OSORIO, L. M.; BELTRÁN-MONTOYA, J. M. Caracterización de residuos de demolición y construcción para la identificación de su potencial de reuso. **DYNA**, v. 85, n. 206, p. 338-347, 2018. DOI: 10.15446/dyna.v85n206.68824

CICLO AMBIENTAL. **Quem somos**. 2018. Disponível em: <http://cicloambientalrcc.com.br/site/conteudo/?id=1>. Acesso em: 12 dez. 2018.

CLUNE, S.; CROSSIN, E.; VERGHESE, K. Systematic review of greenhouse gas emissions for different fresh food categories. **Journal of Cleaner Production**, v. 140, p. 766–783, 2017. doi:10.1016/j.jclepro.2016.04.082.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Preços agrícolas, da sociobio e da pesca**. 2019. Disponível em: <<http://sisdep.conab.gov.br/precosiagroweb/>>. Acesso em: 24 jun. 2019.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 307**, de 05 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da União, Brasília, DF.

CÓRDOBA, C.; MERA, J.; MARTÍNEZ, D.; RODRÍGUEZ, J. Aprovechamiento de polipropileno y polietileno de alta densidad reciclados, reforzados con fibra vegetal, Tetera (Stromanthe Stromathoides). **Revista Iberoamericana de Polímeros**, v. 11, n. 7, p. 417-427. 2010.

COROMINAS, J.; VAN WESTEN, C.; FRATTINI, P.; CASCINI, L.; MALET, J. P.; FOTOPOULOU, S.; PITILAKIS, K. Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk. **Bulletin of engineering geology and the environment**, v. 73, n. 2, p. 209-263, 2014.

COSTA, L. F. Tomografia computadorizada de raios-x aplicada à caracterização do espaço poroso do solo. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia e Geociências. Recife, 2017.

COUTINHO, S. M. V.; SULAIMAN, S. N.; CARBONE, A. S. **Área de Proteção Ambiental (APA) de Santa Cruz**: (re)conhecendo o valor ecológico, histórico-cultural e econômico. Recife: CPRH, 2018. 48p.

COUTINHO, R. Q. Caracterização geotécnica e mecanismos de ruptura de movimento de massa: estudo de caso. **In**: 6º Simpósio de Geotecnia do Nordeste. Palestra. Recife, 2019.

CPRH - AGÊNCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DE PERNAMBUCO. **Diagnóstico socioambiental do litoral sul de Pernambuco** - os núcleos urbanos do litoral sul e a urbanização da orla marítima. Recife: CPRH/GERCO, 2003. 87p.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massas e enchentes:** Itamaracá-Pernambuco. Recife: CPRM, 2015.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea:** Diagnóstico do município de Ilha de Itamaracá, estado de Pernambuco. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.

CRISTELO, N. C. **Estabilização de solos residuais graníticos através da adição de cal.** Dissertação (Mestrado). Universidade do Minho, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Portugal, 2001.

CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Mapa geológico folha Itamaracá SB.25-Y-C-VI** – Escala 1:100000. 2014. Disponível em: < [http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/17760/3/folha\\_itamaraca.pdf](http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/17760/3/folha_itamaraca.pdf) >. Acesso em: 18 jul. 2018

CSILLAG, D. **Análise das práticas de sustentabilidade em projetos de construção latino americanos.** Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2007.

DA SILVA SEGANTINI, A. A.; WADA, P. H. Estudo de dosagem de tijolos de solo-cimento com adição de resíduos de construção e demolição. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 33, n. 2, p. 179-183, 2011.

DA SILVA, A. C. Reaproveitamento da casca de coco verde. **Revista Monografias Ambientais**, v. 13, n. 5, p. 4077-4086, 2014.

DA SILVA, N. M.; ISHIDA, H. Y.; LUKIANTCHUKI, J. A.; DOS REIS, J. H. C.; SILVA, C. F. Quebra do grão em resíduos de construção civil (RCC) induzida pelo processo de compactação. **Ambiente Construído**, v. 18, n. 1, 2018.

DA SILVA, C. F. A.; FERREIRA, B.; BARRETO, E. P.; DAS NEVES GREGÓRIO, M.; MANSO, V. D. A. V.; CANDEIAS, A. L. B.; MELO, W. D. A. Índices de vulnerabilidade à erosão das praias da Ilha de Itamaracá, litoral norte de Pernambuco, Brasil. **Investigaciones Geográficas**, n. 52, p. 71-82, 2016.

DASAKA, S. M.; SUMESH, K. S. Effect of coir fiber on the stress–strain behavior of a reconstituted fine-grained soil. **Journal of Natural Fibers**, v. 8, n. 3, p. 189-204, 2011. <https://iom3.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15440478.2011.601597>.

DE FIGUEIRÊDO, M. C. B.; RODRIGUES, G. S.; CALDEIRA-PIRES, A.; ROSA, M. DE F.; DE ARAGÃO, F. A. S.; VIEIRA, V. DE P. P. B.; MOTA, F. S. B. Environmental performance evaluation of agro-industrial innovations – part 1: Ambitec-Life Cycle, a methodological approach for considering life cycle thinking. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, n. 14, p. 1366–1375, 2010. doi: 10.1016/j.jclepro.

DE MÉLO ALMEIDA, T. L.; MANSO, V. A. V. Sedimentologia da plataforma interna adjacente a Ilha de Itamaracá-PE. **Estudos Geológicos**, v. 21, p. 1, 2011.

DE MOURA, A. R. L. U.; CANDEIAS, A. L. B. Uso de geotecnologias para o gerenciamento ambiental dos manguezais do sistema estuarino de Itamaracá-PE. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR). **Anais [...]** Curitiba: INPE, 2011.

DIAS, J. D. S.; DOS SANTOS, D. T.; BRAGA, M.; ONOYAMA, M. M.; MIRANDA, C. H.; BARBOSA, P. F.; ROCHA, J. D. **Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais**. EMBRAPA Agroenergia-Documents (INFOTECA-E), 2012.

DUTTA, R. K; KHATRI, V. N; GAYATHRI, V. Effect of addition of treated coir fibres on the compression behaviour of clay. **Jordan Journal of Civil Engineering**, v. 6, n. 4, 2012.

EC - EUROPEAN COMMISSION. **Eurostat Report**. 2013.

EHRENBRING, H. Z.; TUTIKIAN, B. F. Concretos reforçados com fibras naturais e fibras recicladas. In: Fórum Internacional de Resíduos Sólidos. **Anais [...]** Porto Alegre: FIRS, 2016.

ELLIOT, T. R.; HECK, R. J. A comparison of optical and X-ray CT technique for void analysis in soil thin section. **Geoderma**, p. 60–70, 2007.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **EMBRAPA solos UEP Recife**. 2006. Disponível em: <http://solos.uep.cnps.embrapa.br/pe/>. Acesso em: 22 fev. 2020.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Formação de voçorocas**. 2007. Disponível em: <[https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agricultura\\_e\\_meio\\_ambiente/arvore/CONTAG01\\_58\\_210200792814.htm](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agricultura_e_meio_ambiente/arvore/CONTAG01_58_210200792814.htm)>. Acesso em: 04 fev. 2020

ESRI – ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. **Gis dictionary**. 2020. Disponível em: <<https://support.esri.com/en/other-resources/gis-dictionary/term/7cbd3f7c-e17f-4bb0-a51a-318ccf5b68f1>>. Acesso em: 22 fev. 2020.

EUROSTAT. **Population on 1 January**. 2018. Disponível em: <<https://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&plugin=1&language=en&pcode=tps00001>>. Acesso em: 03 abr. 2019.

FARINACCIO, A.; GONSALEZ TESSLER, M. Avaliação de impactos ambientais no meio físico decorrentes de obras de engenharia costeira-Uma proposta metodológica. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, v.10, n. 4, 2010. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/html/3883/388340131002/>>. Acesso em: 03 nov. 2020.

FERNANDES, L. P. **Avaliação da erodibilidade de um perfil de solo típico da área do campo de instrução de Santa Maria RS**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2015.

FERRARI, R. A.; SOLER, M. P. Obtention and characterization of coconut babassu derivatives. **Scientia Agricola**, v. 72, n. 4, p. 291-296, 2015.

FERREIRA, E. F.; CASTRO, L. S.; OLIVEIRA, M. M. M.; SILVA, T. L. A.; MORO, D. N. Utilização de subprodutos de babaçu na nutrição animal. **PUBVET**, v. 5, n. 22, 2011.

FERREIRA, M. C.; THOMÉ, A.; Utilização de resíduo da construção e demolição como reforço de um solo residual de basalto, servindo como base de fundações superficiais. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**, n. 18, p. 1-12, 2011.

FEUERHARMEL, M. R. **Comportamento de solos reforçados com fibras de polipropileno**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio de Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

FIBRA - FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO DISTRITO FEDERAL. **Construção civil representa 6,2% do PIB Brasil**. Disponível em: <<https://www.sistemafibra.org.br/fibra/sala-de-imprensa/noticias/1315-construcao-civil-representa-6-2-do-pib-brasil>>. Acesso em: 14 jul. 2019.

FICKO, A.; BONČINA, A. Public attitudes toward environmental protection in the most developed countries: The Environmental Concern Kuznets Curve theory. **Journal of environmental management**, v. 231, 968-981, 2019. doi:0.1016/j.jenvman.

FONSECA, J. A. Erosão hídrica. **Revista científica eletrônica de ciências aplicadas da FAIT**, 2014. Disponível em: <[http://www.fait.revista.inf.br/imagens\\_arquivos/arquivos\\_destaque/UTqAdnnoNnMbldB\\_2014-4-16-16-3-19.pdf](http://www.fait.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/UTqAdnnoNnMbldB_2014-4-16-16-3-19.pdf)>. Acesso em: 04 fev. 2020.

FUJI, L. M. T. **Estudo de misturas de solo, RCD e cal virgem e hidratada para uso em obras rodoviárias**. Dissertação (Mestrado). Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

FRANCO, F. J. P. **Uso da fibra de coco epicarpo de babaçu em compósito de matriz epóxi: estudo do efeito do tratamento de fibras**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2010.

FREITAS, E. P.; MORAES, J. F. L.; PECHE FILHO; A.; STORINO, M. Indicadores ambientais para áreas de preservação permanente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 443-449, 2013.

G1. **Motor de sisal da década de 40 resiste na BA: mutilados passam de dois mil**. 2014. Disponível em: <<http://g1.globo.com/bahia/noticia/2014/12/motor-de-sisal-da-decada-de-40-resiste-na-ba-mutilados-passam-de-dois-mil.html>>. Acesso em 01 fev. 2019.

GIZ - DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT. **Alternativas em wast-to-energy na gestão de resíduos sólidos urbanos**. Eschborn: Giz, 2017. 57p.

GOGOI, L. Degradation of natural resources and its impact on environment: a study in Guwahati City, Assam, India. **International Journal of Scientific and Research Publications**, v. 3, n. 12, p. 1-7, 2013.

GOWTHAMAN, S.; NAKASHIMA, K.; KAWASAKI, S. A state-of-the-art review on soil reinforcement technology using natural plant fiber materials: past findings, present trends and

future directions. **Materials**, v. 11, n. 4, p. 553, 2018. doi: 10.3390/ma11040553.

GRETTEL, A.; HERNANDEZ, L. **Administración y manejo de los desechos en proyectos de construcción: Etapa 2 - Alternativas de manejo**. Vicerrectoría de investigación, Instituto tecnológico de Costa Rica, 2007.

GUEDES, S. B. **Estudo do desempenho mecânico de solo-cimento microreforçado com fibras sintéticas para uso como revestimento primário em estradas não pavimentadas**. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

GÜLLÜ, H.; KHUDIR, A. Effect of freeze–thaw cycles on unconfined compressive strength of fine-grained soil treated with jute fiber, steel fiber and lime. **Cold Regions Science and Technology**, v. 106, p. 55-65, 2014. doi:10.1016/j.coldregions.2014.06.008.

GUSMÃO, A. D. **Manual de gestão de resíduos sólidos na construção civil**. Camaragibe: CCS Gráfica Editora, 2008. 140 p.

GUTIÉRREZ-ORREGO, D. A.; GARCIA-ARISTIZABAL, E. F.; GOMEZ-BOTERO, M. A. Mechanical and physical properties of soil-cement blocks reinforced with mineral wool and sisal fiber. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 29, n. 3, p 04016225, 2017. doi:10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001753.

HASTINGS, J. T.; HILL, L. L. Georeferencing. **In: LIU L., ÖZSU M.T. (eds) Encyclopedia of Database Systems**. Springer, Boston, MA, 2009. doi:10.1007/978-0-387-39940-9\_181.

HE, C.; SHI, P.; XIE, D.; ZHAO, Y. Improving the normalized difference built-up index to map urban built-up areas using a semiautomatic segmentation approach. **Remote Sensing Letters**, v. 1, n. 4, p. 213-221, 2010. doi.org/10.1080/01431161.2010.481681.

HEJAZI, S. M.; SHEIKHZADEH, M.; ABTAHI, S. M.; ZADHOUSH, A. A simple review of soil reinforcement by using natural and synthetic fibers. **Construction and building materials**, v. 30, p. 100-116, 2012. doi:10.1016/j.conbuildmat.2011.11.045.

HELLIWELL, J. R.; STURROCK, C. J.; GRAYLING, K. M.; TRACY, S. R.; FLAVEL, R. J.; YOUNG, I. M., MOONEY, S. J. Applications of X-ray computed tomography for examining biophysical interactions and structural development in soil systems: a review. **European Journal of Soil Science**, v. 64, n. 3, p. 279–297, 2013. doi:10.1111/ejss.12028

HOLANDA, M. J. de O. **Desenvolvimento de Ferramenta de Apoio à Gestão Municipal de Resíduos de Construção e Demolição na Região Metropolitana do Recife**. Dissertação (Mestrado). Universidade de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Recife, 2018.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário 2017: Resultados Preliminares**. 2017. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017>. Acesso em: 15 abr. 2019.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Área da unidade territorial: Área territorial brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019.

IEPAGRO - INSTITUTO DE ESTUDOS E PESQUISA DO AGRONEGÓCIO RONDONIENSE. **Programa de ações a jusante de médio e baixo Rio Madeira**: Unidade de processamento do coco babaçu. Porto velho: IEPAGRO, Santo Antonio Energia, 2010.

ISLAM, S. **Golden fibre jute**. 2007. Disponível em: <<https://www.flickr.com/photos/sajan164/3378383775>>. Acesso em: 01 fev. 2019.

JACOMINE, P. K. T. A nova classificação brasileira de solos. **Anais [...]** Academia Pernambucana de Ciência Agronômica, v. 5, p. 161-179, 2013.

JAMEI, M.; VILLARD, P.; GUIRAS, H. Shear failure criterion based on experimental and modeling results for fiber-reinforced clay. **International Journal of Geomechanics**, p. 882-893, 2013. doi:10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0000258.

JI, U.; VELLEUX, M.; JULIEN, P. Y.; HWANG, M. Risk assessment of watershed erosion at Naesung Stream, South Korea. **Journal of environmental management**, v. 136, p. 16-26, 2014. doi:10.1016/j.jenvman.2014.01.033.

JIESHENG, L.; JUAN, Z.; LIN, X. Deformation and Strength Characteristics of Sisal Fibrous Soil. **Electron. J. Geotech. Eng.**, v. 19, 2014. Disponível em: <<http://www.ejge.com/2014/Ppr2014.153mplr.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2018.

KAFODYA, I.; OKONTA, F. Effects of natural fiber inclusions and pre-compression on the strength properties of lime-fly ash stabilised soil. **Construction and Building Materials**, n. 170, p. 737-746, 2018. doi:10.1016/j.conbuildmat.2018.02.194.

KAR, R. K.; PRADHAN, P. K.; NAIK, A. Plate load test on fiber-reinforced cohesive soil. **Electronic Journal of Geotechnical Engineering**, v. 17, p. 633-649, 2012a. Disponível em: <<http://www.ejge.com/2012/Ppr12.058w3lr.pdf>>. Acesso em: 20 dez. 2018.

KAR, R. K.; PRADHAN, P. K.; NAIK, A. Consolidation characteristics of fiber reinforced cohesive soil. **Electron. J. Geotech. Eng.**, v. 17, p. 3861-3874, 2012b. Disponível em: <<http://www.ejge.com/2012/Ppr12.364alr.pdf>>. Acesso em: 20 dez. 2018.

KAR, R. K.; PRADHAN, P. K.; NAIK, A. Effect of Randomly Distributed Coir Fibers on Strength Characteristics of Cohesive Soil. **Electron. J. Geotech. Eng.**, v. 19, p. 1567-1583, 2014. Disponível em: <<http://www.ejge.com/2014/Ppr2014.152md.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2018.

KOJO, R.; LILJA, R. **Talonrakentamisen materiaalitehokkuuden edistäminen**. Reports of the Ministry of the Environment 21/2011. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10138/41495>. Acesso em: 02 fev. 2019.

KUMAR, P.; ROSENBERGER, J. M.; IQBAL, G. M. D. Mixed integer linear programming approaches for land use planning that limit urban sprawl. **Computers & Industrial Engineering**, v. 102, p. 33-43, 2016.

LACASTRO, J. K.; ANGELIS, B. L. D. Barreiras de impermeabilização: configurações aplicadas em aterros sanitários. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental Santa Maria**, v. 20, n. 1, p. 200-210, 2016.

LAFAYETTE, K. P. V. **Estudo geológico-geotécnico do processo erosivo em encostas no Parque Metropolitano Armando de Holanda Cavalcanti – Cabo de Santo Agostinho/PE**. Tese (Doutorado). Universidade de Pernambuco, 2006.

LEITE, M. L.; SILVA, I. N.; RODRIGUEZ, T. T.; MARANGON, M.; JERONYMO, L. L. Erodibilidade de Solos Residuais do Cultural –Juiz de Fora. In: XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (COBRANSEG). **Anais [...]** Belo Horizonte: COBRANSEG, 2016.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2010.

LIMA, V. M. E. **Análise das propriedades físicas e mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados oriundos de resíduos da indústria de pré-fabricados de concreto**. Dissertação (Mestrado). Universidade de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Recife, 2017.

LIMA, C. A.; MONTENEGRO, A. A. A.; SANTOS, T. E. M.; ANDRADE, E. M.; MONTEIRO, A. L. N. Práticas agrícolas no cultivo da mandioca e suas relações com o escoamento superficial, perdas de solo e água. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 46, n. 4, p. 697-706, 2015.

LIMA NETO, J. D. A.; RIBEIRO, M. R.; CORRÊA, M. M.; SOUZA-JÚNIOR, V. S. D.; ARAÚJO FILHO, J. C. D.; LIMA, J. F. W. Caracterização e gênese do caráter coeso em latossolos amarelos e argissolos dos tabuleiros costeiros do estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 33, n. 4, p. 1001-1011, 2010.

LIRA JR., E. A. de. **Uso de resíduos de construção e demolição (RCD) em estacas de compactação para melhoramento de solos**. Dissertação (Mestrado). Universidade de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Recife, 2010.

LIU, L.; ZHANG, Y. Urban heat island analysis using the Landsat TM data and ASTER data: A case study in Hong Kong. **Remote Sensing**, v. 3, n. 7, p. 1535-1552, 2011. doi: 10.3390/rs3071535.

LORENZI, H.; NOBLICK, L.; KAHN, F. **Flora brasileira: Arecaceae (Palmeiras)**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2010. 367p.

MACCI, C.; DONI, S.; PERUZZI, E.; MASCIANDARO, G.; MENNONE, C.; CECCANTI, B. Almond tree and organic fertilization for soil quality improvement in southern Italy. **Journal of Environmental Management**, v. 95, p. S215–S222, 2012. doi:10.1016/j.jenvman.2010.10.050.

MACEDO, T. F. **Análise do desempenho mecânico da mistura agregado reciclado-solo-fibra-cimento para pavimentação**. Dissertação (Mestrado). Universidade de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Recife, 2013.

MACIEL, F. J. **Estudo da geração, percolação e emissão de gases no aterro de resíduos sólidos da Muribeca/PE**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.

MACIEL NETTO, A.; ANTONINO, A. C. D.; AUDRY, P.; CARNEIRO, C. J. G.; DALL'OLIO, A. Condutividade hidráulica não saturada de um podzólico amarelo da zona da mata norte de Pernambuco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 6, 1221-1228, 2000.

MAGALHÃES JUNIOR, A. P. **Indicadores ambientais e recursos hídricos: realidade e perspectiva para o Brasil a partir da experiência francesa**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. 656p.

MAITY, J.; CHATTOPADHYAY, B. C.; MUKHERJEE, S. P. Behavior of sands mixed randomly with natural fibers. **Electronics Journal of Geo-technical Engineering**, v. 17, p. 1833-1854, 2012. Disponível em: <<http://www.ejge.com/2012/Ppr12.151alr.pdf>>. Acesso em: 01 nov. 2018.

MALIAKAL, T.; THIYYAKKANDI, S. Influence of randomly distributed coir fibers on shear strength of clay. **Geotechnical and Geological Engineering**, v. 31, n. 2, 425-433, 2013. <https://doi.org/10.1007/s10706-012-9595-1>.

MARTINS FILHO, M. V.; LICCIOTI, T. T.; PEREIRA, G. T.; MARQUES JÚNIOR, J.; SANCHEZ, R. B. Perdas de solo e nutrientes por erosão num Argissolo com resíduos vegetais de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, p. 8-18, 2009.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Série boas práticas de manejo para o extrativismo sustentável orgânico**. 2012.

MARTINS, R. **Produção sustentável de carvão vegetal**: Teoria e prática na definição, implementação e avaliação de fornos de terra melhorados IBEK no distrito de Mabalene - província de Gaza. Relatório final, parte 2. Maputo. 2016.

MENDOZA, C. J.; AIRE, C.; DÁVILA, P. Influencia de las fibras de polipropileno en las propiedades del concreto en estados plástico y endurecido. **Concreto y cemento. Investigación y desarrollo**, v. 2, n. 2, p. 35-47, 2011.

MENEZES, L. C. P. **Análise do comportamento mecânico de solo arenoargiloso reforçado com fibras de coco verde**. Dissertação (Mestrado). Universidade de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Recife, 2018.

MILLER, S. A. Natural fiber textile reinforced bio-based composites: mechanical properties, creep, and environmental impacts. **Journal of Cleaner Production**, v. 198, p. 612-623, 2018. doi:10.1016/j.jclepro.2018.07.038.

MUNKHOLM, L. J.; HECK, R. J.; DEEN, B.; ZIDAR, T. Relationship between soil aggregate strength, shape and porosity for soils under different long-term management. **Geoderma**, p. 52-59, 2013.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Indicadores ambientais. 2019. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/informações-ambientais/indicadores-ambientais>>. Acesso em: 17 set. 2019.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE; SRHU - SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTE URBANO. **Manual para implantação de sistema de gestão de resíduos de construção civil em consórcios públicos**. Brasília, 2010.

MONDAL, M.; SHARMA, N.; KAPPAS, M.; GARG, P. Critical assessment of land use land cover dynamics using multi-temporal satellite images. **Environments**, v. 2, n. 1, p. 61-90, 2015.

MORAES, J. P. S. **Procedimentos para análise lignocelulósica**. Campina Grande: EMBRAPA Algodão, 2010.

MOTTA, R. S. **Estudo laboratorial de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil para aplicação em pavimentação de baixo volume de tráfego**. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2005.

MUJAH, D.; RAHMAN, M. E.; ZAIN, N. H. M. Performance evaluation of the soft soil reinforced ground palm oil fuel ash layer composite. **Journal of Cleaner Production**, v. 95, p. 89-100, 2015. doi:10.1016/j.jclepro.2015.02.058.

NAGALLI, A. **Gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

NANSUBUGA, I.; BANADDA, N.; RONSSE, F.; VERSTRAETE, W.; RABAEY, K. Digestion of high rate activated sludge coupled to biochar formation for soil improvement in the tropics. **Water Research**, v. 81, p. 216–222, 2015. doi:10.1016/j.watres.2015.05.047.

NASCIMENTO, E. C. **Avaliação das propriedades do agregado reciclado da construção civil para utilização em sistema de cobertura final de aterros sanitários**. Dissertação (Mestrado). Universidade de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Recife, 2019.

NEVILLE, A. M. **Properties of concrete**. London: Longman, 1995.

NIK NORSYAHARIATI, N.D.N.; NISA, A.J.F; SADIQ. M.A.; AZMI JULIANA, G. Influence of Agricultural Wastes on Shear Strength Properties of Soil. **In MATEC Web of Conferences**, 2016.doi: 10.1051/mateconf/20164703018.

NORSYAHARIATI, N. D. N.; NISA, A. J. F.; SADIQ, M. A.; JULIANA, G. A. Influence of Agricultural Wastes on Shear Strength Properties of Soil. **In: MATEC Web of Conferences**, v. 47, p. 03018, 2016. doi:10.1051/mateconf/20164703018.

OLIVEIRA, C. R. **Avaliação de solo-cimento reforçado com fibras do coco de babaçu para produção de tijolo modular ecológico**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Marabá, Faculdade de Engenharia de Materiais, Marabá, 2011.

OLIVEIRA, M.; LAFAYETTE, K. P. V.; TAVARES, Y. V. P.; SILVA, S. R.; TETI, L. M. E. H; MACEDO, T. F. Melhoria de solo com resíduos da construção civil reforçado com fibras de polipropileno. **In: Encontro Latino Americano de Edificações e Comunidades Sustentáveis**. Vitória, 2011.

OLIVEIRA, M. L. L. **Influência da adição de fibras de polipropileno em argamassas**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. 2001.

OLIVEIRA FILHO, O. D. Q. **Uma metodologia simplificada para estimativa do aproveitamento eólico offshore no litoral brasileiro** - Estudo de caso: a Ilha de Itamaracá/PE. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Recife, 2011.

OLIVEIRA JÚNIOR, A. I. **Comportamento geotécnico de misturas compactadas de solo argiloso com fibras curtas de coco**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Recife, 2018.

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development**. 2015. Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un>.

OTSUKA, A. Y.; FEITOSA, F. A. N.; FLORES-MONTES, M. J.; HONORATO-DASILVA, M.; TRAVASSOS, R. K. Condições Ambientais do estuário do rio Botafogo (Itamaracá-Pernambuco-Brasil): clorofila a e algumas variáveis ambientais. **Trop Oceanogr**, v. 42, p. 112-128, 2014.

OZA, J. B.; GUNDALIYA, P. J. Study of black cotton soil characteristics with cement waste dust and lime. **Procedia Engineering**, v. 51, p. 110-118, 2013.

ÖZALP, F.; YILMAZ, H.D.; KARA, M.; KAYA, Ö.; ŞAHİN, A. Effects of recycled aggregates from construction and demolition wastes on mechanical and permeability properties of paving stone, kerb and concrete pipes. **Construct. Build. Mater.** v. 110, p. 17–23, 2016. doi:10.1016/j.conbuildmat.2016.01.030.

PADILHA, A. F. **Microscopia eletrônica de transmissão**. Departamento de engenharia metalúrgica e de materiais da EPUSP, 2013.

PAES-DE-SOUZA, M.; BORRERO, M. A. V.; DE SOUZA FILHO, T. A. Potencial para o desenvolvimento da cadeia produtiva do babaçu no Médio e Baixo Rio Madeira–Porto Velho/RO. **Revista de Administração e Negócios da Amazônia**, v. 3, n. 2, p. 75-87, 2017.

PAIVA, A. E. M.; SOUSA JR, P. A.; POLITI, F. S.; DA SILVA, K. R. C. Efeito da Fibra de Buriti nas Propriedades Físicas de Argamassas de Cimento Portland. **Revista Tecnológica**, v. 25, n. 1, p. 91-102, 2016.

PALANISAMY, P.; KUMAR, P. S. Effect of molarity in geo polymer earth brick reinforced with fibrous coir wastes using sandy soil and quarry dust as fine aggregate. **Case studies in construction materials**, v. 8, p. 347-358, 2018.

PAROISSIEN, J. B.; DARBOUX, F.; COUTURIER, A.; DEVILLERS, B.; MOUILLOT, F.; RACLOT, D.; LE BISSONNAIS, Y. A method for modeling the effects of climate and land use changes on erosion and sustainability of soil in a Mediterranean watershed (Languedoc, France). **Journal of Environmental Management**, v. 150, p. 57-68, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.10.034>.

PAULILLO, L. F.; VIAN, C. E. D. F.; SHIKIDA, P. F. A.; MELLO, F. T. D. Álcool combustível e biodiesel no Brasil: quo vadis?. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 45, n. 3, p. 531-565, 2007.

PAZ, D.H.F. **Desenvolvimento de um sistema de apoio à gestão integrada de resíduos de construção e demolição**. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Recife, 2019.

PAZ, D. H. F.; CARDOSO, F. C. N.; LAFAYETTE, K. P. V.; ALENCAR, S. F. Estimativa da geração atual de resíduos da construção e demolição (RCD) nos municípios brasileiros. In: Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente (ENGEMA). **Anais [...]** São Paulo, 2013.

PERNAMBUCO. **Inventário estadual de emissões de gases de efeito estufa: 2015-2018**. Recife: Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade, 2019.

PETRY, L. S.; DO ROSÁRIO LIMA, V. M.; LAHM, R. A. Estudo do uso de ecossistemas como recurso didática remoto: um estudo de caso. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 11, n. 2, 431-454, 2012.

PICKERING, K. L.; EFENDY, M. A.; LE, T. M. A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 83, p. 98-112, 2016. doi:10.1016/j.compositesa.2015.08.038.

PORRAS, A. C.; CORTES, N. L. G. Gestión logística y operacional de la unidad de reciclaje de residuos de construcción y demolición. **Revista Ingeniería Industrial**, v. 13, n. 2, p. 7-18, 2014.

PORTELA, M. F. A. **Avaliação da dispersividade e resistência à compressão de compósitos de um solo da formação barreiras com RCD e cal**. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2019.

RAJ, S.; MOHAMMAD, S.; DAS, R.; SAHA, S. Coconut fibre-reinforced cement-stabilized rammed earth blocks. **World Journal of Engineering**, v. 14, n. 3, 208-216, 2017. doi:.org/10.1108/WJE-10-2016-0101.

RIO MERINO, M. D.; IZQUIERDO GRACIA, P.; SALTO-WEIS AZEVEDO, I.; SANTA CRUZ ASTORQUI, J. La regulación jurídica de los residuos de construcción demolición (RCD) en España. El caso de la Comunidad de Madrid. **Informes de la Construcción**, v. 62, n. 517, p. 81-86, 2010. doi:10.3989/ic.08.059.

RECIFE, Decreto n. 27.399, de 27 de setembro de 2013. **Regulamenta as unidades de recebimento de resíduos sólidos oriundos de pequenos geradores, no âmbito do Município do Recife**. Diário Oficial Municipal do Recife, Recife, PE, set 2013.

RIOUSSET, P.; FLACHSLAND, C.; KOWARSCH, M. Global environmental assessments: Impact mechanisms. **Environmental science and policy**, v. 77, p. 260-267, 2017. doi:10.1016/j.envsci.2017.02.006.

ROCHA, A. P. **Avaliação espaço-temporal da suscetibilidade a movimentos de massa utilizando produtos fotogramétricos e modelagem espacial multicritério na dinâmica de áreas de risco nas microrregiões do Jordão e Ibura**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife, 2015.

RODRIGUES, O. R.; ANDRADE, E. M.; PALÁCIO, H. A. Q.; MENDONÇA, L. A. R.; SANTOS, J. C. N. Sediment loss in semiarid small watershed due to the land use. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, p. 488-498, 2013.

SACHS, W. **Global challenges**: Climate chaos and the future of development. 2007.

SANCHEZ, E.; CAVANI, C. S.; LEAL, C. V.; SANCHEZ, C. G. **Compósito de resina de poliéster insaturado com bagaço de cana-de-açúcar**: influência do tratamento das fibras nas propriedades. *Polímeros*. 2010. Disponível em: [http://www.scielo.br/pdf/po/2010nahead/aop\\_0556.pdf](http://www.scielo.br/pdf/po/2010nahead/aop_0556.pdf). Acesso em: 14 abr. 2019.

SANTOS, A. R. dos. **Enchentes e deslizamentos**: causas e soluções-áreas de risco no Brasil. São Paulo: Pini, 2012.

SANTOS, A. G.; TEIXEIRA, R. W.; DE MELLO, E. A.; TEIXEIRA, J. Avaliação do custo de construção de uma estrutura de pavimento empregando agregado reciclado de RCD. **REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 10, n. 1, 2015. doi:10.5216/reec.V10i1.31557.

SANTOS, J. A. **Ensaio de caracterização de solos**. Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa, 2009.

SANTOS, J.A. **Compactação**: elementos teóricos. Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa, Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura, 2008.

SANTOS, J. N. S.; ANDRADE, E. M.; GUERREIRO, M. J. S.; MEDEIROS, P. H. A.; PALÁCIO, H. A. Q.; ARAÚJO NETO, J. R. Effect of dry spells and soil cracking on runoff generation in a semiarid micro watershed under land use change. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 541, p. 1057-1066, 2016.

SANTOS, J. N. S.; ANDRADE, E. M.; MEDEIROS, P. H. A.; GUERREIRO, M. J. S.; PALÁCIO, H. A. Q. Effect of Rainfall Characteristics on Runoff and Water Erosion for Different Land Uses in a Tropical Semiarid Region. **Water Resources Management**, Atenas, v. 31, p. 173-185, 2017.

- SANTOS, L. A. **Biotecnologia aplicada a RSU e tecnologias de tratamento biológico**. Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2019.
- SANTOS, M. J. P.; SILVA, T. S.; LAFAYETTE, K. P. V. Análise dos impactos ambientais causados por resíduos sólidos numa encosta no município de Recife - PE. **In: SANTOS, J. P. O., SILVA, R. C. P., MELLO, D. P., EL-DEIR, S. G. Resíduos sólidos: impactos socioeconômicos e ambientais**. 1 ed. Recife: EDUFRPE, 2018.
- SANTOS NETO, F. C. **Uso de resíduos da construção civil para melhoramento de solos colapsíveis**. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2015.
- SANTOS, S.; CAVALLI FILHO, E.; DORNELLES, J. D.; PEDRONI, G. C.; PADILHA, V. Z. Utilização de resíduos sólidos da construção civil como agregado graúdo na confecção de concreto. **In: Congresso Técnico Científico de Engenharia e da Agronomia - CONTECC' 2015. Anais [...]** Fortaleza: UTFPR, 2015.
- SARI, Y. D. Soil Strength Improvement by Microbial Cementation. **Marine Georesources & Geotechnology**, v. 33, n. 6, p. 567–571, 2014. doi:10.1080/1064119x.2014.953234.
- SATYANARAYANA, K. G.; ARIZAGA, G. G. C.; WYPYCH, F. Biodegradable composites based on lignocellulosic fibers-An overview. **Int. Rev. J. Prog. Polym. Sci.**, v. 34, p. 982–1021, 2009.
- SCARIOT, K. A. L. **Estudo paramétrico da resistência ao cisalhamento de um solo de baixa capacidade de suporte**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2018.
- SCHLEE, M. B. Ocupação de encostas urbanas: algumas considerações sobre resiliência e sustentabilidade. **Cadernos Metr pole**, v. 15, n. 29, p. 241-264, 2013.
- SEMATUR - SECRETARIA MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE E TURISMO DE BEQUIMÃO. **Quebradeiras de Coco Babaçu realizam Encontro no Quilombo Santa Tereza em Bequimão (MA)**. 2015. Disponível em: <http://reentranciasma.blogspot.com/2015/10/quebradeiras-de-coco-babacu-realizam.html>. Acesso em: 04 abr. 2019.
- SELVARAJ, S.; JEEVAN, V.; JONNALAGADDA, R. R.; FATHIMA, N. N. Conversion of tannery solid waste to sound absorbing nanofibrous materials: A road to sustainability. **Journal of Cleaner Production**, v. 213, p. 375–383, 2019. doi:10.1016/j.jclepro.2018.12.144.
- SHAHBAZI, M.; ROWSHANZAMIR, M.; ABTAHI, S. M.; HEJAZI, S. M. Optimization of carpet waste fibers and steel slag particles to reinforce expansive soil using response surface methodology. **Applied Clay Science**, v. 142, p. 185–192, 2017. doi:10.1016/j.clay.2016.11.027.
- SHENZHEN HOUSING AND CONSTRUCTION BUREAU (SHCB). **The Technical Manual for Reducing Construction Waste in Shenzhen**. 2011.

SILVA, A. C. **Comportamento hidromecânico de um solo areno-argiloso adicionado com resíduos de pneus e resíduos de construção e demolição**. Dissertação (Mestrado) Universidade de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2018.

SILVA, C. C. **Comportamento de solos siltosos quando reforçados com fibras e melhorados com aditivos químicos e orgânicos**. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, 2007.

SILVA, M. R. da. **Distribuição do babaçu e sua relação com os fatores geoambientais na bacia do Rio Cocal, Estado do Tocantins**. Dissertação (Mestrado). Universidade de Brasília, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2008.

SILVA, J. M.; PASSOS, A. L. R.; BELTRÃO, F. A. S. Análise espacial da densidade, umidade e resistência mecânica do solo à penetração sob sistemas de cultivo. **Engenharia Ambiental – Espírito Santo do Pinhal**, v. 6, n. 3, p. 103-118, set./dez. 2009.

SILVA, R. V.; DE BRITO, J.; DHIR, R. K. Performance of cementitious renderings and masonry mortars containing recycled aggregates from construction and demolition wastes. **Construction and Building Materials**, n. 105, p. 400-415, 2016. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2015.12.171.

SILVA, W.; MELO JÚNIOR, E. S.; COELHO, G. T. F.; PEREIRA, D. R. Utilização de agregados do resíduos da construção e demolição (RCD) em pavimento. In: Congresso Técnico Científico de Engenharia e da Agronomia - CONTECC' 2015. **Anais [...]** Fortaleza: UTFPR, 2015

SILVA, S. **O que é e quais as características da fibra de vidro**. 2015. Disponível em: <<https://www.ideiasedicas.com/o-que-e-e-quais-as-caracteristicas-da-fibra-de-vidro/>>. Acesso em: 01 fev. 2019.

SILVA, V. B. Um breve relato sobre a gestão ambiental. **Revista de Geografia, Meio Ambiente e Ensino**, v. 2, n. 1, p. 163-175, 2011.

SILVEIRA, M. S. **Utilização de cascas de coco verde na produção de briquetes em Salvador (BA)**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica, Salvador, 2008.

SIMÕES DE OLIVEIRA, A. G.; JESUS, A. C.; MIRANDA, S. B. Estudo Geológico–Geotécnico dos Solos Expansivos da Região do Recôncavo Baiano. In: II Simpósio Brasileiro de Jovens Geotécnicos-II Geojoovem, **Anais [...]** Nova Friburgo: ABMS, 2006.

SLUSZZ, T.; MACHADO, J. A. D. Características das matérias-primas para biodiesel em potencial e sua adoção pela agricultura familiar. In: 6º Reunião de Energia no Meio Rural. **Anais [...]**, 2006. Disponível em: <<http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?>>. Acesso em: 20 jan. 2019.

SPU – SECRETARIA DO PATRIMÔNIO DA UNIÃO. **Relatório para construção da metodologia de conversão de dados cartográficos da SPU**. Ministério do Planejamento, SPU, 2016.

SRIDHAR, R.; PRATHAPKUMAR, M.T. Comparison on shear strength of coir mat and coir fiber reinforced sand. **Electronic Journal of Geotechnical Engineering**, v. 22, n. 3, p. 1015 – 1023, 2017.

SOOD, M.; DWIVEDI, G. Effect of fiber treatment on flexural properties of natural fiber reinforced composites: A review. **Egyptian journal of petroleum** [online], 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2017.11.005>.

SOOHOO, W. M.; WANG, C.; LI, H. Geospatial assessment of bioenergy land use and its impacts on soil erosion in the US Midwest. **Journal of environmental management**, v. 190, p. 188-196, 2017. doi:10.1016/j.jenvman.2016.12.057.

SORIN, S.; CĂLĂMAR, A.; PUPĂZAN, D.; KOVACS, M.; LORAND, T. **Study on concentrations of pollutants in flue gases generated by the production of ceramic building materials**. Quality-Access to Success, v. 18, 2017.

SOUZA, E. C. M. **Amêndoa do babaçu**. Companhia Nacional de Abastecimento. B. Sociobiodiversidade, v. 2. n. 1, 2018a.

SOUZA, E. C. M. **Amêndoa do babaçu**. Companhia Nacional de Abastecimento. B. Sociobiodiversidade, v. 2. n. 4, 2018b.

SOUZA, E. C. M.; JESUS, L. S.; GONZAGA, L. F. **Amêndoa do babaçu**. Companhia Nacional de Abastecimento. B. Sociobiodiversidade, v. 1. n. 4, 2017.

SOUZA, M. V. R. **Efeitos de fibras sintéticas nas propriedades de ligantes e concretos asfálticos**. Dissertação (Mestrado). Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil, Distrito Federal, 2010.

SPAIN, M. E. **Plan Nacional de Residuos de Construcción y Demolición 2001–2006** (National C&D waste plan 2001–2006). Ministry of the Environment, Madrid, 2001.

STEPHAN, A. M. **Análise de processos erosivos superficiais por meio de ensaio de Inderbitzen**. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Civil, Viçosa, MG, 2010.

SUJATHA, E. R.; DEVI, S. S. Reinforced soil blocks: Viable option for low cost building units. **Construction and Building Materials**, v. 189, p. 1124-1133, 2018. doi:10.1016/j.conbuildmat.2018.09.077.

SUN, W.; XU, Y. Using a back propagation neural network based on improved particle swarm optimization to study the influential factors of carbon dioxide emissions in Hebei Province, China. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, p. 1282-1291, 2016. doi:10.1016/j.jclepro.2015.04.097.

TANKO, A.; IJIMDIYA, T. S.; OSINUBI, K. J. Effect of inclusion of randomly oriented sisal fibre on some geotechnical properties of lateritic soil. **Geotechnical and Geological Engineering**, v. 36, n. 5, p. 3203-3209, 2018. doi:10.1007/s10706-018-0530-y

TAKEDA, M. C. **A influência da variação da umidade pós-compactação no comportamento mecânico de solos de rodovias do interior paulista**. Tese (Doutorado). Universidade de Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 2006.

TAPPI - ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **T – 207**: Water solubility of wood and pulp. TAPPI, 2008.

TEIXEIRA, M. A. Uma agenda para o babaçu. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 34, n. 4, p. 562-575, 2003.

TEX DELTA. **Aplicaciones y ventajas del uso de fibras de polipropileno**. 2019. Disponível em: <<https://texdelta.com/blog/aplicaciones-y-ventajas-del-uso-de-fibras-de-polipropileno/>>. Acesso em: 01 de jan. 2019.

TIWARI, S. K.; SHARMA, J. P. Influence of Fiber-Reinforcement on CBR-Value of Sand. **The Electronic Journal of Geotechnical Engineering**, v. 18, p. 4303-4311, 2013. <http://www.ejge.com/2013/Ppr2013.386mlr.pdf>.

VALDES-VASQUEZ, R.; KLOTZ, L. Incorporating the social dimension of sustainability into civil engineering education. **Journal of Professional Issues in Engineering Education & Practice**, v. 137, n. 4, p. 189-197, 2010.

VARELA, G. J. A. C. **Influência dos recifes na evolução da linha de costa na Ilha de Itamaracá-PE**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Geociências, 2010.

VARGO, J.; HABEEB, D.; STONE JR, B. The importance of land cover change across urban–rural typologies for climate modeling. **Journal of environmental management**, v. 114, p. 243-252, 2013. doi:10.1016/j.jenvman.2012.10.007

VARSHNEY, A.; RAJESH, E. A comparative study of built-up index approaches for automated extraction of built-up regions from remote sensing data. **Journal of the Indian Society of Remote Sensing**. v. 42, n. 3, p. 659-663, 2014.

VENKATACHALAM, N.; NAVANEETHAKRISHNAN, P.; RAJSEKAR, R.; SHANKAR, S. Effect of pretreatment methods on properties of natural fiber composites: A review. **Polymers & Polymer Composites**, v. 24, n. 7, p. 555, 2016. doi:10.18052/www.scipress.com/ILNS.8.7.

VERMEULEN, S. J.; CAMPBELL, B. M.; INGRAM, J .S. I. Climate Change and Food Systems. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 37, p. 195-222, 2012 <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-020411-130608>.

VIEIRA, C. R. **Análise da geração dos resíduos da construção civil, consumos de água e energia elétrica nos canteiros de obra da cidade do Recife - PE**. Dissertação (Mestrado). Universidade de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Recife, 2018.

VIEIRA, C. S.; PEREIRA, P. M. Use of recycled construction and demolition materials in geotechnical applications: A review. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 103, p. 192-204, 2015.

VILLAREAL NÚÑEZ, J. E.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B. do; MAZUR, N. Conseqüências de diferentes sistemas de preparo do solo sobre distribuição química e perdas de fósforo de um Argissolo. **Bragantia**, v. 62, n. 1, p. 101-109, 2003.

WEI, L.; CHAI, S. X.; ZHANG, H. Y.; SHI, Q. Mechanical properties of soil reinforced with both lime and four kinds of fiber. **Construction and Building Materials**, v. 172, p. 300-308, 2018. doi:10.1016/j.conbuildmat.2018.03.248.

WMO – World Meteorological Organization. **United in Science**. 2019. Disponível em: <[https://public.wmo.int/en/resources/united\\_in\\_science](https://public.wmo.int/en/resources/united_in_science)>. Acesso em: 20 jan. 2020.

WON, J.; CHENG, J. Identifying potencial opportunities of building information modeling for construction and demolition waste management and minimization. **Automatization in Construction**, n. 79, p. 3-18, 2017. doi: 10.1016/j.autcon.2017.02.002.

WU, Y.; XIA, C.; CAI, L.; GARCIA, A. C.; SHI, S. Q. Development of natural fiber-reinforced composite with comparable mechanical properties and reduced energy consumption and environmental impacts for replacing automotive glass-fiber sheet molding compound. **Journal of Cleaner Production**, v. 184, p. 92-100, 2018. doi:10.1016/j.jclepro.2018.02.257.

XIMENES, T. C. F. **Diagnóstico da gestão municipal dos resíduos de construção e demolição e seus impactos ambientais no município de Paulista/PE**. Dissertação (Mestrado). Universidade de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Recife, 2018.

YILMAZ, T.; ERCIKDI, B.; DEVECI, H. Utilisation of construction and demolition waste as cemented paste backfill material for underground mine openings. **Journal of Environmental Management**, v. 222, p. 250–259, 2018. doi:10.1016/j.jenvman.2018.05.075.

YIXIAN, W.; PANPAN, G.; SHENGBIAO, S.; HAIPING, Y.; BINXIANG, Y. Study on strength influence mechanism of fiber-reinforced expansive soil using jute. **Geotechnical and Geological Engineering**, v. 34, n. 4, p. 1079-1088, 2016.

YU, Y.; YANG, X.; LI, K. Effects of the terms and characteristics of cadres on environmental pollution: Evidence from 230 cities in China. **Journal of environmental management**, v. 232, p. 179-187, 2019. doi:10.1016/j.jenvman.2018.11.002.

YUAN, H. A SWOT analysis of successful construction waste management. **Journal of Cleaner Production**, v. 39, p. 1–8, 2013. doi:10.1016/j.jclepro.2012.08.016.

YUAN, H. Barriers and countermeasures for managing construction and demolition waste: A case of Shenzhen in China. **Journal of Cleaner Production**, v. 157, p. 84–93, 2017. doi:10.1016/j.jclepro.2017.04.137.

ZAIDAN, R. T.; FERNANDES, N. F. Análise de riscos de escorregamentos nas encostas edificadas da bacia de drenagem urbana do córrego do independência-juiz de fora (MG). **Revista de Geografia-PPGEO-UFJF**, v. 5, n. 1, 2016.

ZAPATA-OSPINA, G. **Manejo de escombros, un reto para el Aburrá**. El Colombiano, 18 de maio de 2016.

ZHANG, C. W.; LI, F. Y.; LI, J. F.; LI, Y. L.; XU, J.; XIE, Q.; GUO, A. F. Novel treatments for compatibility of plant fiber and starch by forming new hydrogen bonds. **Journal of Cleaner Production**, v. 185, p. 357-365, 2018. doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.001.