



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

RAYANE GABRIELLA PEREIRA DA SILVA

**AVALIAÇÃO DO REFORÇO DE UM SOLO PROVENIENTE
DE UMA ENCOSTA EM ÁREA DE RISCO COM ADIÇÃO DE
RCC E FIBRAS EM RECIFE/PE**

Recife, PE

2024



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

RAYANE GABRIELLA PEREIRA DA SILVA

**AVALIAÇÃO DO REFORÇO DE UM SOLO PROVENIENTE
DE UMA ENCOSTA EM ÁREA DE RISCO COM ADIÇÃO DE
RCC E FIBRAS EM RECIFE/PE**

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

Área de Concentração: Construção Civil

Orientadora: Prof^a Dra. Kalinny Patrícia Vaz Lafayette

Recife, PE

2024

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

Silva, Rayane Gabriella Pereira da
S586m Avaliação do reforço de um solo proveniente de uma encosta em área de risco com adição de RCC e fibras em Recife/PE. / Rayane Gabriella Pereira da Silva. – Recife: UPE, Escola Politécnica, 2024.

142 f. il.

Orientadora: Profa. Dra. Kalinny Patrícia Vaz Lafayette

Dissertação (Mestrado – Construção Civil) Universidade de Pernambuco, Escola Politécnica de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2024.

1. Áreas de Risco. 2. Solo. 3. Resíduos da Construção Civil (RCC). 4. Fibra de Poliéster (PET). I. Construção Civil – Dissertação. II. Lafayette, Kalinny Patrícia Vaz (orient.). III. Universidade de Pernambuco, Escola Politécnica, Mestrado em Construção Civil. V. Título.

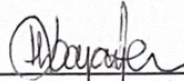
CDD: 690.028 – 23. ed.
Eliane Leitão – CRB4/827

RAYANE GABRIELLA PEREIRA DA SILVA

**AVALIAÇÃO DO REFORÇO DE UM SOLO PROVENIENTE DE
UMA ENCOSTA EM ÁREA DE RISCO COM ADIÇÃO DE RCC E
FIBRAS EM RECIFE/PE**

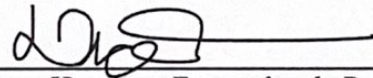
BANCA EXAMINADORA:

Orientador



Profa. Dra. Kaliny Patricia Vaz Lafayette
Universidade de Pernambuco

Examinadores



Prof. Dr. Diogo Henrique Fernandes da Paz
Instituto Federal de Pernambuco



Profa. Dra. Karina Cordeiro de Arruda Dourado
Instituto Federal de Pernambuco

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todas as pessoas que se encontram em áreas de risco e que convivem com infraestruturas precárias.

“Grandes coisas fez o senhor por nós, e por isso estamos alegres.” Salmos 126: 3

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado saúde, paz, alegria para continuar seguindo com os meus sonhos e objetivos e a certeza de que ele está sempre comigo.

Aos meus pais, Rosângela e Rogerio por serem a minha base, pelo apoio, amor incondicional e paciência. Que me incentivam a nunca desistir. Ao meu irmão, por sempre ajudar e apoiar nos meus estudos.

As minhas avós Marluce e Cecília, e toda a minha família, tias, tios, primos e primas conhecida como “família da casa 19”, por me apoiarem sempre e pelo amor e apoio incondicional.

Ao meu namorado, Cristovão Leandro por todo amor, paciência, dedicação e por estar comigo em todos os momentos e correrias da nossa vida, sempre com o objetivo de alcançarmos os nossos sonhos.

Aos meus sogros, pela atenção, apoio, carinho e toda a ajuda neste período, o apoio de vocês foi essencial.

À minha orientadora, professora Kalinny Lafayette, pela confiança no meu trabalho, pela dedicação, ensinamentos, paciência, compreensão, incentivo, sempre buscando ajudar da melhor forma possível.

Aos professores Karina Dourado e Diogo Paz, por aceitarem fazer parte da minha banca, pela confiança no meu trabalho, ajuda e disposição.

À direção da Escola Politécnica, à coordenação da Pós-Graduação, aos docentes e demais funcionários do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade de Pernambuco (Poli-UPE), em especial Lúcia Rosani Vieira, pela sua dedicação e profissionalismo.

Aos técnicos e amigos, Gutemberg (UFPE), Lorena Vila Bela (Poli-UPE), Daniel (DEN-UFPE) que foram excelentes profissionais na ajuda em todos os ensaios realizados, fazendo muito mais que o exigido pela sua função.

Aos amigos do mestrado, em especial, Amaury Goveia, Luciana Lima, Igor Santos, Flaviana Gomes, Lorena Vila Bela, Bárbara Portela, Maria Cristina, Dieska Rayane, Paula Boumann, Gírlândia Sampaio, Emanuel Amorim pelo companheirismo, pelo apoio nos estudos e trabalhos realizados nas disciplinas e por todos os momentos de alegria e ansiedade que passamos neste ciclo de vida.

À empresa Ciclo Ambiental, por, gentilmente, fornecer o resíduo de construção civil utilizado nesta pesquisa e por disponibilizar informações sempre que necessário.

À Defesa Civil de Recife, ao gerente da Regional Noroeste Erik Andrade, e toda família Noroeste, em especial aos meus amigos e companheiros de trabalho, Márcia, Ana Paula, Luiz e Edlaine por acompanharem em todas as visitas realizadas na área de estudo.

À Agência Estadual de Planejamento e Pesquisa de Pernambuco – CONDEPE-FIDEM, pelo fornecimento dos mapas, auxiliando na análise temporal da área.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para que esta pesquisa fosse realizada e que tornaram mais leve a jornada ocorrida até a finalização deste trabalho.

RESUMO

Ao longo dos anos danos por deslizamento de terra tem se tornado cada dia mais frequentes principalmente no período de inverno. Apesar de terem origem natural, são influenciados pelas ações antrópicas, como: cortes irregulares no talude, remoção da cobertura vegetal, deposição irregular de resíduos, entre outros. Diante disto, o presente estudo tem como objetivo avaliar o reforço do solo de uma encosta, analisando as propriedades físicas, químicas, mineralógicas e mecânicas dos materiais e compósitos (solo, RCC e fibra de poliéster (PET)), para fins de obra de estabilização de encostas em áreas de risco. Para realização da pesquisa foi coletada amostras de solo de uma encosta situada em área de risco, localizada na RPA 3, no bairro de Nova Descoberta, na cidade de Recife/PE. Através das amostras de solo, RCC e fibra de poliéster foram obtidos compósitos que subsidiaram a pesquisa. Primeiramente, as percentagens de RCC em substituição do solo foram de 30% e 50% respectivamente e nos compósitos com a adição de fibras os percentuais que substituíram o RCC foram de 0,25% e 0,75%. Na área de estudo, foi possível verificar em um recorte temporal de 48 anos, que houve um acréscimo na área urbana de 305,56% e no eixo viário de 33,33%, entretanto ocorreu uma redução das áreas de vegetação natural em 65,41%, e de solo exposto em 60,87%. Através dos resultados da análise AHP, foi verificado que uma parcela de 23,52 km² da RPA 3 em estudo é representada por áreas de alta suscetibilidade a movimentos de massa, o que equivale a 30,79% da área. Já as que apresentam baixas e moderadas propensões correspondem, respectivamente, a 45,30% e 58,73% do território. Com relação ao estudo dos materiais o solo, RCC e os compósitos apresentaram predominantemente uma textura de material arenoso. Quanto à classificação dos materiais, o solo se enquadra como areia argilosa (SC); o RCC em areia siltosa – SM, e os compósitos S70R30 e S50R50 como areia argilosa-areia siltosa (SC-SM). Quanto à plasticidade, o solo foi classificado como medianamente plástico; o RCC, como não plástico; e os dois compósitos (S70R30 e S50R50) como medianamente plástico. A análise química através do ensaio de fluorescência de Raio – X, detectou que os materiais de solo e RCC são constituídos por aproximadamente 50% de óxido de silício (SiO₂), elemento muito presente em materiais arenosos. Os parâmetros de compactação obtidos mostraram que a substituição do resíduo obteve um aumento de 1,7% na densidade seca máxima, contudo diminuiu a umidade ótima em 6,4%. Já com a substituição da fibra de poliéster, o ganho de densidade e umidade ótima não foi tão significativo. Quanto à resistência à compressão simples (RCS), o compósito S99,25F0,75 apresentou no tempo de cura de 28 dias o melhor resultado, elevando a RCS do

solo em 38,39%, seguido do compósito S90R9,25F0,75 com ganhos de 7,57%. Dessa forma, verifica-se nesses materiais que é possível melhorar o comportamento mecânico do solo, contribuindo com a destinação correta de resíduos da construção e fibras.

Palavras- Chave: Áreas de Risco; Solo; Resíduo da Construção Civil (RCC); Fibra de Poliéster (PET).

ABSTRACT

Over the years, injuries caused by earth pants have become more frequent, especially in the winter period. Despite having a natural origin, they are influenced by anthropic actions, such as: irregular cuts in the slope, removal of vegetation cover, irregular deposition of waste, among others. That said, the present study aims evaluate soil reinforcement on a slope, the physical, chemical, mineralogical and mechanical properties of materials and composites (soil, CCW and polyester fiber (PET)) for the purpose of protecting slopes in risk areas. To carry out the research, a soil sample was collected from a slope located in a risk area, located in RPA 3, oin the neighborhood of Nova Descoberta, in the city of Recife/PE. Through soil samples, CCW composites and polyester fiber were obtained that subsidized the research. First, the percentages of RCC replacing the soil were 30% and 50%, respectively, and in composites the percentages replacing CCW with polyester fiber were 0.25% and 0.75%. In the study area, it was possible to verify in a time frame of 48 years, that there was an increase in the urban area of 305.56% and in the road axis of 33.33%, however there was a reduction of the areas of natural vegetation in 65, 41%, and exposed soil in 60.87%. Through the results of the AHP analysis, it was verified that a portion of 23.52 km² of the RPA 3 under study is represented by areas of high susceptibility to mass movements, which is equivalent to 30.79% of the area. Those with low and moderate propensities correspond, respectively, to 45.30% and 58.73% of the territory. Regarding the study of the materials, the soil, CCW and the composites predominantly presented a texture of sandy material. As for the classification of materials, the soil is classified as clayey sand (SC); the CCW in the silty- sand (SM), and the S70R30 and S50R50 composites as clayey sand-silty sand (SC-SM). As for plasticity, the soil was classified as moderately plastic; CCW as non-plastic; and the two composites (S70R30 and S50R50) as moderately plastic The chemical analysis through the X-Ray fluorescence test, detected that the soil and CCW materials are constituted by approximately 50% of silicon oxide (SiO₂), an element very present in sandy materials. The compaction parameters obtained showed that the replacement of the residue obtained an increase of 1.7% in the maximum dry density, however, it decreased the optimum moisture by 6.4%. With the replacement of polyester fiber, the gain in density and optimal humidity was not as significant. As for simple compressive strength (RCS), the composite S99.25F0.75 presented the best result in the curing time of 28 days, increasing the RCS of the soil by 38.39%, followed by the composite S90R9.25F0.75 with gains of 7.57%. In this way, it is possible to

improve the mechanical behavior of the soil with these materials, contributing to the correct disposal of construction waste and fibers.

Keywords: Risk Areas; Ground; Civil Construction Waste; Polyester Fiber (PET).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: (a) Bairro da Macaxeira - Buriti e (b) Bairro de Vasco da Gama -Alto Nossa Senhora de Fátima.	20
Figura 2: Ocupação irregular de encostas no bairro do Vasco da Gama.....	20
Figura 3: Diagrama de Causa e Efeito.....	22
Figura 4: Encosta estudada por Almeida (2021).	23
Figura 5: Ações educativas sobre áreas de risco nas escolas municipais da cidade do Recife.	26
Figura 6: Fibra de Polipropileno.....	33
Figura 7: Fibra de sisal.	33
Figura 8: Processo de beneficiamento da fibra de coco babaçu.	34
Figura 9: Tijolo ecológico.	35
Figura 10: Fibras de Poliéster (PET).	36
Figura 11: Mapa do Município de Recife.....	37
Figura 12: Mapa de localização da região de estudo.....	38
Figura 13: Deslizamento de uma encosta em Maio de 2022 na área de estudo.	39
Figura 14: Desabamento parcial em imóvel no inverno de 2021.....	39
Figura 15: Mapa da Vegetação de Recife.....	41
Figura 16: Médias das Precipitações de Chuvas e Temperatura para o ano de 2022/2024.....	42
Figura 17: Mapa de geomorfologia do Recife.....	44
Figura 18: Mapa de pedologia do Recife.....	46
Figura 19: Principais Unidades Geológicas da Cidade de Recife.	49
Figura 20: Mapa das Bacias Hidrográficas da Cidade de Recife.	51
Figura 21: Fluxograma das etapas da pesquisa.	53
Figura 22: Deslizamento de Encosta no Córrego do Leôncio no inverno de 2022 - Nova Descoberta/PE.	54

Figura 23: Sistema GTP	60
Figura 24: Coleta das amostras de solo.	61
Figura 25: Resíduo da Construção Civil (RCC).....	61
Figura 26: Fibras de Poliéster (PET).	62
Figura 27: Ensaio de Sedimentação.....	64
Figura 28: Ensaio de densidade real dos grãos.....	64
Figura 29: Ensaio de Limites de Atterberg.	65
Figura 30: Difratorômetro Shimadzu XRD6000, utilizado para o ensaio de Difratorometria de Raio -X.	66
Figura 31: Equipamento para ensaio de fluorescência de Raio-X - Rigaku, modelo ZSX Primus II.	67
Figura 32: Ábaco de dispersividade.	68
Figura 33: Ensaio de compactação do solo.	69
Figura 34: Moldagem dos corpos de prova e determinação da umidade.	70
Figura 35: Ensaio de Cisalhamento Direto: Início (A) e término (B).	70
Figura 36: Preparação do corpo de prova para ensaio de Resistência à Compressão Simples (A) Preparação; (B) Moldagem; (C); Preparação do corpo de prova para câmara úmida; (D) Rompimento do corpo de prova.	71
Figura 37: Corpos de prova (CPs), para ensaio de Resistência à Compressão Simples.....	72
Figura 38: Microtomógrafo modelo NICON XT H 225 ST.....	73
Figura 39: Mapa de Uso e Ocupação do Solo – 1975.	77
Figura 40: Mapa de Uso e Ocupação do Solo - 1997.....	78
Figura 41: Mapa de Uso e Ocupação do Solo 2007.	79
Figura 42: Mapa de Uso e Ocupação do Solo 2013.	80
Figura 43: Mapa de Uso e Ocupação e do Solo – 2023.	81

Figura 44: Variação percentual no comportamento de uso e ocupação do solo na Rua Córrego do Leôncio em Recife.....	82
Figura 45: Variação no comportamento de uso e ocupação do solo na Rua Córrego do Leôncio em Recife, ao longo dos anos.....	83
Figura 46: Mapa de delimitação da RPA 3 e delimitação do Bairro de Nova Descoberta.	84
Figura 47: Representação dos fatores que influenciam na suscetibilidade a deslizamentos elencados para este estudo.....	85
Figura 48: Mapa de suscetibilidade à deslizamentos de encostas na RPA 3 no município de Recife.....	88
Figura 49: Mapa de suscetibilidade a deslizamentos de encostas no bairro de Nova Descoberta -Recife/PE.....	90
Figura 50: Registros fotográficos de ocorrências de deslizamentos de encostas no Bairro de Nova Descoberta.....	91
Figura 51: Fluxograma metodológico modelo GTP adotado na pesquisa.....	92
Figura 52: Curva Granulométrica dos compósitos de solo, RCC, S50R50 e S70R30.....	94
Figura 53: Difratometria de raio-x da amostra de RCC.....	97
Figura 54: Amostra de RCC analisada através da lupa binocular.....	98
Figura 55: Difratometria de raio-x da amostra de solo.....	98
Figura 56: Amostra de solo analisada através da lupa binocular.....	99
Figura 57: Relação entre o PST e o TSD do solo e RCC.....	102
Figura 58: Curvas de Compactação do solo, RCC e compósitos.....	102
Figura 59: Curvas de Compactação do solo, RCC e compósitos.....	103
Figura 60: Curvas Tensão Cisalhante x Deformação Horizontal - Condição Natural.....	105
Figura 61: Curvas Tensão Cisalhante x Deformação vertical (A) Condição Natural, (B) Condição Inundada.....	105
Figura 62: Envoltórias de Resistência do Solo na (A) Condição Natural e (B) Condição Inundada.....	106

Figura 63: Rompimento das Amostras: Sem Fibra (A); Com Fibra (B).	107
Figura 64: Curva de tensão x deformação dos materiais e compósitos (S100; R100; S50R50; S70R30; S99,25F0,75; S99,75F0,25) aos 28 dias.	108
Figura 65: Curva de tensão x deformação dos materiais e compósitos (S70R29,25F0,75; S50R49,25F0,75; S70R29,75F0,25; S50R49,75F0,25; S85R14,25F0,75; S90R9,25F0,75) aos 28 dias.....	108
Figura 66: Resultado da resistência à compressão simples Solo; RCC, S50R50; S70R30 (A); S99F0,75; S50R49,25F0,75; S70R29,25F0,75; S99F0,25(B); S50R49,75F0,25; S70R29,75F0,25; S85R14,25F0,75; S90R9,25F0,75 (7 e 28 dias).....	109
Figura 67: Imagens obtidas por tomografia computadorizada.	111
Figura 68: Superfície de Resposta: RCSxRCCxFB.	114
Figura 69: Superfície de Resposta: RCSxDIASxFB.	114

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Distribuição do número de óbitos por grupo, entre os anos de 1988 e 2023.....	24
Tabela 2: Mortes na região serrana do Rio de Janeiro, causadas por eventos climáticos no ano de 2011.	24
Tabela 3: Mortes em Pernambuco por eventos climáticos em 2022/2023.....	25
Tabela 4: Resoluções nº 307 e 348 resíduos da construção civil classificados em quatro classes.	28
Tabela 5: Metodologia adotada para caracterização das amostras.	52
Tabela 6: Matriz de Comparação Pareada.	56
Tabela 7: Escala de comparação de critérios.....	56
Tabela 8: Vetor de pesos associado à Matriz de Comparação Pareada.	57
Tabela 9: Índices Randômicos (IR).....	58
Tabela 10: Critérios para reclassificação do mapa de suscetibilidade a movimentos de massa.	59
Tabela 11: Identificação dos Compósitos.....	63
Tabela 12: Parâmetros do pH.	67
Tabela 13: Equação dos parâmetros dos teores de sais.	68
Tabela 14: Classificação do uso e ocupação do solo na Rua Córrego do Leôncio em Recife.	82
Tabela 15: Tabela de variação das tipologias por período.	83
Tabela 16: Vetor de pesos associado à Matriz de Comparação Pareada dos parâmetros que influenciam na suscetibilidade a inundações e alagamentos elencados para este estudo.....	87
Tabela 17: Proporção das áreas suscetíveis a deslizamentos de encostas na RPA 3 no município de Recife.....	89
Tabela 18: Composição granulométrica.	94
Tabela 19: Classificação dos materiais e compósitos segundo a SUCS.	96
Tabela 20: Limites de Atterberg.....	96

Tabela 21: Resultado da análise das amostras de Solo e RCC a partir do ensaio de fluorescência de Raio – X.....	99
Tabela 22: Valores de	100
Tabela 23: Resultado das análises de teor de sais.	101
Tabela 24: Umidades ótimas e massa específica seca dos materiais e compósitos.....	103
Tabela 25: Parâmetros de resistência ao cisalhamento dos solos provenientes da Formação Barreiras na Região Metropolitana do Recife -RMR.	106
Tabela 26: Área de porosidade do solo, RCC e S99,75F0,25 obtidos no ensaio de Tomografia Computadorizada.....	111
Tabela 27: Variáveis independentes utilizadas na estatística	112
Tabela 28: ANOVA das variáveis independentes.	112
Tabela 29: Modelo Sintetizado.....	113
Tabela 30: Variáveis de otimização do valor da RCS.....	115

LISTA DE ABREVIATURAS

ABIPET- Associação Brasileira da Indústria do PET

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

APAC- Agência Pernambucana de Águas e Clima

Cc- Coeficiente de curvatura

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CONDEPE/FIDEM- Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco

CEMADEN - Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais

CP- Corpo de Prova

CPRM – Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais

Cu – Coeficiente de uniformidade

DRX- Difractometria de Raio -X

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EMLURB – Empresa de Manutenção e Limpeza Urbana

FRX – Fluorescência de Raio -X

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IP – Índice de Plasticidade

LL – Limite de Liquidez

LP – Limite de Plasticidade

LSI – Laboratório de Solos e Instrumentação

LTDA – Limitada ou Sociedade Limitada

NBR – Norma Brasileira

ONU – Organização das Nações Unidas

PET – Polietileno Tereftalato

PIB – Produto Interno Bruto

PCR – Prefeitura da Cidade do Recife

PMRR – Plano Municipal de Redução de Risco

UPE/POLI – Escola Politécnica de Pernambuco

RCC – Resíduo da Construção Civil

RCS – Resistência à Compressão Simples

RMR – Região Metropolitana de Pernambuco

RPA- Região Político Administrativa

TC- Tomografia Computadorizada

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SUCS – Sistema Unificado de Classificação dos Solos

UFPE- Universidade Federal de Pernambuco

UPE- Universidade de Pernambuco

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1 Justificativa	16
1.2 Objetivos.....	17
1.2.1 Objetivo geral.....	17
1.2.2 Objetivos específicos	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1 Uso e ocupação do solo	18
2.2 Áreas de Risco	20
2.2.1 Deslizamento de encostas em áreas de risco.....	22
2.2.2 Ações educativas em áreas de risco	25
2.3 Resíduo da Construção Civil (RCC).....	26
2.3.1 Geração de Impactos Ambientais causados pelo RCC	28
2.3.2 Utilização do RCC na Construção Civil	29
2.4 Reforço do Solo	30
2.5 Fibra de Poliéster (PET)	35
3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	37
3.1 Localização	37
3.2 Aspectos Socioeconômicos	39
3.3 Aspectos Fisiográficos do Município	40
3.3.1 Vegetação.....	40
3.3.2 Clima.....	42
3.3.3 Relevo	42

3.3.4 Solo	45
3.3.5 Geologia	47
3.3.6 Hidrografia	50
4 MATERIAIS E MÉTODOS	52
4.1 Análise temporal.....	54
4.1.1 Obtenção de Dados	54
4.1.2 Georreferenciamento.....	55
4.2 Aplicação do Modelo Analítico Hierárquico (AHP).....	55
4.2.1 Aplicação da álgebra de mapas e verificação da eficiência do mapa de suscetibilidade a movimentos de massa.....	58
4.3 Avaliação dos Impactos Ambientais pelo Modelo GTP (geossistema, território, paisagismo).....	59
4.4 Coleta de Materiais e definições dos compósitos	60
4.4.1 Solo	60
4.4.2 Resíduo da Construção Civil (RCC).....	61
4.4.3 Fibras de Poliéster (PET)	62
4.4.4 Definição dos percentuais dos compósitos	62
4.5 Ensaios de Caracterização Física	63
4.5.1 Granulometria	63
4.5.2 Densidade real dos grãos.....	64
4.5.3 Limites de Atterberg	65
4.6 Ensaios de Caracterização Mineralógica	65
4.7 Ensaios de Caracterização Química	66
4.7.1 Ensaio de Fluorescência de Raio- X	66
4.7.2 Determinação do pH	67

4.7.3 Teores de sais e cloretos.....	68
4.8 Ensaio de Caracterização Mecânica.....	69
4.8.1 Compactação.....	69
4.8.2 Resistência ao Cisalhamento Direto.....	69
4.8.3 Resistência à Compressão Simples (RCS).....	71
4.9 Ensaio não destrutivo (end)	72
4.10 Análise Estatística.....	73
5 RESULTADOS.....	75
5.1 Análise Temporal.....	75
5.2 Análise AHP	83
5.3 Análise do Modelo GTP	91
5.4 Caracterização Física	94
5.4.1 Análise Granulométrica	94
5.4.2 Limites de Atterberg	96
5.5 Análise Mineralógica.....	96
5.6 Análise Química.....	99
5.6.1 Fluorescência de Raio – X	99
5.6.2 Teores de Sais	100
5.7 Caracterização Mecânica.....	102
5.7.1 Compactação.....	102
5.7.2 Análise de resistência ao cisalhamento direto.....	104
5.7.3 Análise da resistência à compressão simples (RCS).....	107
5.7.4 Caracterização por Tomografia Computadorizada	110
5.7.5 Análise de Estatística da RCS – Superfície de Resposta	112

6	CONCLUSÕES	116
7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	118
8	REFERÊNCIAS	119

1. INTRODUÇÃO

A partir do desenvolvimento das grandes cidades e o aumento da população surge a desigualdade social, levando a parte da população economicamente mais frágil a se descentralizar dos centros urbanos, ocupando e utilizando zonas mais acidentadas e com piores condições para a construção. Ao considerar que atualmente a maioria da população mundial habita as zonas urbanas, as cidades tornaram o centro de problemas, como a poluição, a geração de resíduos sólidos e o desperdício de recursos naturais (SILVA, 2020; SILVA *et al.*, 2021; SIMÕES, 2024).

As regiões que antes eram naturais, segundo Zabotto (2019) através de alterações provocadas pela urbanização inadequada, foram dando lugar a construções de bairros e vilarejos com sérios problemas ambientais. Este processo histórico de ocupação gerou impactos adversos, seja decorrente da ação do homem sobre a natureza, como na condução irregular dos resíduos sólidos, seja o efeito inverso – da natureza sobre o homem, na forma de desastres naturais como em deslizamentos e áreas de instabilidade, principalmente em áreas de muito alta fragilidade reflexo do crescimento desordenado (FERREIRA LEITE; CORTINES, 2024).

A ocupação irregular, principalmente, próxima às encostas, agrava a situação de vulnerabilidade dessas áreas, seja pelo desmatamento ou pelo aumento do carregamento incidente na mesma, fazendo com que surjam setores de alto risco que, associados aos períodos chuvosos mais intensos, tornam-se palco de graves acidentes. Vale salientar que a existência do risco reflete a associação de diversos componentes, apresentando causas complexas, mas cujo entendimento é essencial para a mitigação e prevenção desses eventos (MELLO, 2018; VERAS, 2018; SILVA, 2019).

Desastres, como deslizamentos de terra e alagamentos, tem sido relativamente recorrente nos últimos anos no Brasil e, apesar desses problemas apresentarem origem natural, sofrem influência de ações antrópicas como: o lançamento incorreto de efluentes, cortes irregulares de taludes, desmatamento de vegetação e a deposição de resíduos sólidos que intensificam a incidência e intensidade desses eventos (SANTOS *et al.*, 2020).

A produção de resíduos é efeito natural do processo de urbanização, juntamente com o desenvolvimento econômico e o crescimento populacional e que se acentuam em localidades com ocupações desordenadas. A atuação em conjunto desses fatores contribui para a crescente oferta de produtos e serviços, os quais estão diretamente e indiretamente relacionados com a geração de rejeitos (RODRIGUEZ; ZAMORA; PÉREZ, 2021).

Ainda dentro da temática de resíduos foi encontrado no plástico um material que, na forma de resíduo, configura-se bastante nocivo à sociedade e ao meio ambiente, uma vez que se trata de um material de difícil degradação, possui utilização em larga escala e modo de descarte inadequado (FORMIGONI; SANTOS; MEDEIROS, 2014; RHODES, 2018). O Polietileno tereftalato (PET), é uma das espécies mais difundidas de plástico, e apresenta característica 100% reciclável. No Brasil, constitui um importante exemplo de Economia Circular. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PET –ABIPET, 2024).

A adição de rejeitos poliméricos de PET em diferentes classes de materiais tem sido o foco de inúmeras pesquisas realizadas, tornando esta uma alternativa sustentável para reciclagem destes resíduos (SANTOS, 2012). A utilização do PET em materiais de compósitos poliméricos tem sido investigada nos últimos anos tornando este, um material alternativo e ecológico para a construção civil (LEITE, 2022; PEDROSA, 2021, SANTOS *et al.*, 2022).

Dispondo essas informações, a reutilização dos resíduos da construção civil, associado à adição de fibras de PET, surge como uma alternativa compatível para o reforço de solo, à medida que configura uma destinação ambientalmente adequada desses resíduos. A aplicação de fibras poliméricas com esse intuito é uma prática amplamente utilizada, principalmente as fibras de PET, que possui alta densidade, rigidez e resistência (PEDROSA, 2021; SANTOS *et al.*, 2019).

1.1 Justificativa

Dentre as principais regiões do Brasil, o Nordeste é a segunda com maior quantitativo de pessoas em áreas de risco, de acordo com o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais -CEMADEN (2018). O aumento populacional em áreas de riscos é importante, já que segundo Souza (2019) os dois fatores, principais, relacionados ao meio físico do Brasil, que facilitam as movimentações de massa é a ocorrência de chuvas atrelada ao processo de urbanização e desmatamento.

O manejo inadequado do solo, da floresta, da água e o aumento das atividades produtivas impactam negativamente ao ecossistema independente do bioma apresentado (PEREIRA *et al.*, 2020; SILVA; GUEDES, 2023; SILVA *et al.*, 2021).

Uma das principais causas que influenciam nesse resultado é o aumento do quantitativo da população urbana, que de acordo com o Censo IBGE (2022), a população total do país foi estimada em 212,7 milhões em 2021, o que representa um aumento de 7,6% se comparado a

2012. Além disso, Carvalhais *et al.* (2019), descreve outros fatores que podem agravar os danos, como por exemplo; cortes verticais nos taludes, remoção da cobertura vegetal, drenagem inadequada, entre outros. Portanto, o movimento de urbanização das populações tem se configurado em uma tendência global, gerando consideráveis impactos ambientais (BULTI; ABEBE. 2020).

Para o estudo está sendo utilizado o resíduo da construção e fibras, com o intuito de promover a utilização desses materiais no reforço do solo das encostas e a importância de uma destinação ambiental correta aos resíduos produzidos pela construção civil. Nesse contexto, o estudo tem como objetivo analisar e quantificar o processo de uso, ocupação e cobertura de um solo em uma encosta localizada no bairro de Nova Descoberta, na cidade do Recife-PE, a partir de análise temporal e ensaios de laboratório, visando identificar as características físicas, mecânicas, químicas e mineralógicas da encosta.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo desta pesquisa é realizar uma avaliação através do reforço do solo proveniente de uma encosta, com adição de resíduos da construção civil (RCC) e fibras de poliéster (PET) no bairro de Nova Descoberta, situada na cidade do Recife.

1.2.2 Objetivos específicos

A fim de se atingir o objetivo geral, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Mapear as áreas de risco, verificando a situação de impactos ao longo dos anos;
- Analisar as mudanças geográficas através do modelo GTP (Geossistema, Território e Paisagem);
- Avaliar os escorregamentos através da Análise Hierárquica AHP;
- Realizar caracterização física, mecânica, química e mineralógica do solo, resíduos e compósitos;
- Realizar Tomografia de Raio - X;
- Fazer uma análise estatística para identificar o melhor percentual dos compósitos;

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As ocupações irregulares não se resumem apenas as grandes cidades, esse problema atinge a todas as cidades, sobretudo, às de médio porte, ocasionando problemas de ordem socioambiental (SIMÕES, 2024). Sendo necessária a adoção de processos continuados de planejamento e gestão, destinados ao ordenamento da exploração dos territórios, equilibrando conservação ambiental e relações socioeconômicas de forma que nenhum destes aspectos seja negligenciado (FERREIRA LEITE; CORTINES, 2024).

As áreas de ocupação subnormal são bastante comuns em cidades como a Região Metropolitana do Recife (RMR), sendo parte do resultado do processo de ocupação desordenada, aliada à baixa renda per capita de um grupo expressivo da população brasileira (XAVIER *et al.*, 2019).

Devido ao crescimento populacional, a expansão urbana irregular e o déficit de moradia, os grandes centros urbanos vêm trazendo padrões característicos de uso e ocupação não planejados do território, gerando impactos negativos e criando ambientes desfavoráveis à vida humana (VERAS, 2018).

Esses aspectos antropológicos resultam em regiões residenciais sem planejamento e, conseqüentemente, sem infraestrutura para resistir à ocupação crescente. Apesar dos processos hidrológicos e geológicos fazerem parte da dinâmica natural da superfície terrestre, quando combinados com a ocupação urbana em áreas suscetíveis como planícies de inundação e encostas de declividade acentuada, o resultado são sistemas vulneráveis a deslizamentos e inundações (SAITO *et al.*, 2019).

A ocupação antrópica desordenada, tem como causas principais; fatores sociais, econômicos e políticos. Posto, isto é muito importante a identificação, gerenciamento e percepção dos riscos, necessários a prevenção de vítimas pelo agente causador (ARAÚJO, 2019).

2.1 Uso e ocupação do solo

No que se diz respeito ao desenvolvimento urbano, a expansão crescente provoca diversas mudanças no local, intensificando a transformação dos espaços e ambientes naturais a partir das ações antrópicas (NASCIMENTO *et al.*, 2020; PARMA, 2023; PEREIRA; NUNES; ARAÚJO, 2021; SILVA; GUEDES, 2023). A conformação do uso e ocupação da terra sem

planejamento, gera diversos problemas no processo de expansão das cidades, dentre estes, os riscos geológicos (MIRANDA; LIMA, 2021).

O crescimento acelerado, principalmente em países desenvolvidos, traz avanços e mostra o quanto os espaços urbanos apresentam um cenário despreparado para absorver a demanda populacional nos requisitos básicos de infraestrutura. Isso leva a crer que o mercado imobiliário se apropria dos melhores setores nas cidades e acaba esquecendo de locais destinados à moradia popular (MANTOVANI, 2016).

A urbanização apresenta um conceito geográfico ligado ao crescimento das cidades e no conseqüente desenvolvimento da infraestrutura do local. Ao apropriar-se do território, a sociedade promove significativas mudanças no ambiente natural, retirando a vegetação original e ocasionando a impermeabilização do solo. O uso do solo representa uma união de atividades e organizações humanas ligadas ao modo de relacionamento com o meio ambiente, em que a cidade apresenta variadas formas de concentração e o solo urbano será disputado para inúmeros usos (OLIVEIRA *et al.*, 2015).

As dinâmicas e padrões de uso e ocupação do solo são de extrema importância diante dos intensos e atuais debates sobre as matérias de alterações climáticas, desenvolvimento sustentável e preservação ambiental, visto que o solo é um recurso finito. A degradação do solo tem sido uma das questões mais criticadas e enfrentadas pela população mundial, já que este se apresenta como um recurso fundamental para a sustentação da humanidade (ABRANTES *et al.*, 2018).

Para Albuquerque (2016), pensar nos impactos socioambientais em áreas inapropriadas à ocupação do solo associados com a construção de moradias de baixo padrão construtivo passou a ser um projeto desafiador.

Para reparar os danos ambientais ocasionados pela deposição de resíduos em locais inapropriados, é necessário um planejamento ambiental por iniciativa dos legisladores e governantes através da criação de políticas públicas com normas de combate aos problemas ambientais, associado aos projetos de conscientização social, a fim de reduzir o volume de material descartado em pontos impróprios (SANTOS *et al.*, 2017).

Além disso, é necessário um planejamento territorial integrado, através de projetos e pesquisas que forneçam informações suficientes a respeito do meio físico e das suas correspondentes características geológico-geotécnicas que permitam a ocupação do local

(NOGUEIRA *et al.*, 2020). A ocupação irregular do solo pode ser encontrada em diversos bairros da cidade do Recife, conforme a Figura 1 e Figura 2.

Figura 1: (a) Bairro da Macaxeira - Buriti e (b) Bairro de Vasco da Gama -Alto Nossa Senhora de Fátima.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 2: Ocupação irregular de encostas no bairro do Vasco da Gama.



Fonte: Elaborado pela autora.

2.2 Áreas de Risco

O conceito de risco está associado com a imprevisibilidade ou a probabilidade de algo acontecer, e que pode ser agravado por diversos fatores que ocasionem danos ou inconvenientes ao cenário. Dependendo da forma com a qual o homem se organiza no espaço, as situações de vulnerabilidade ou suscetibilidade sofrem variações, podendo ser agravadas dependendo da realidade de cada indivíduo (GIRÃO; RABELLO; ZANELLA, 2018).

É válido ressaltar que é de extrema importância esclarecer as diferenças entre perigo e risco (Olímpio; Zanella, 2017). O perigo está relacionado a possibilidade de ocorrência de um fenômeno potencialmente danoso à vida, aos bens e ao ambiente que pode gerar problemas sociais, políticos, ambientais e econômicos. O risco está relacionado a probabilidade de formação de uma crise, produzida pelos impactos de um perigo sobre um sistema social vulnerável. Dessa maneira, os riscos naturais teriam origem na relação entre sociedade e natureza.

De acordo com Yu, Yang e Li (2019), a densidade populacional pode ser entendida como uma variável de controle que possibilitará uma melhor gestão ambiental, visto que as áreas com maior número populacional necessitam de ações governamentais mais fortes, visando a redução da poluição e da degradação ao meio ambiente.

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. Esse também é um dos principais fatores relacionados com a redução da área de vegetação dos locais considerados como áreas de risco, ocasionando maior vulnerabilidade a desabamentos os quais podem gerar consequências catastróficas, principalmente quando potencializados pela chuva (FREITAS *et al.*, 2013; SCHLEE, 2015).

São diversos os fatores relacionados com os processos de instabilidade de uma encosta que podem ser intensificados com o uso e a ocupação irregular da área. O uso inadequado do solo, como a construção de edificações em áreas de risco, também pode tornar a encosta mais vulnerável, já que pode aumentar a carga exercida sobre o solo. Outro fator importante é a infiltração de água no solo que pode acumular na zona saturada, criando um aumento da poropressão, o que pode gerar uma diminuição da tensão efetiva e, conseqüentemente, uma perda de estabilidade da encosta (ANDRADE; CALHEIROS; CONCEIÇÃO, 2016; CARVALHAIS *et al.*, 2019; GERSCOVICH, 2016; LEITE; PINHEIRO; PAMBOUKIAN, 2019).

Outros agravantes relacionados com a instabilidade das encostas são os cortes verticalizados que alteram o ângulo de repouso do talude, deposição irregular do material, resultante do corte do talude e execução de moradias sem planejamento nem projetos de drenagem, que acabam por reduzir a resistência do terreno. Além disso, vale ressaltar a falta de esgotamento sanitário que gera o lançamento do esgoto diretamente no solo, contribuindo para a redução da resistência do talude (CARVALHAIS *et al.*, 2019).

Tominaga (2007) afirma que a ocupação urbana indiscriminada de áreas de risco, sem planejamento adequado e sem adoção de técnicas de estabilização, promove a ocorrência de acidentes, os quais, ocasionalmente, atingem dimensões de desastres. É fundamental que haja um planejamento adequado do uso do solo e uma preocupação com a preservação ambiental, com o objetivo de minimizar os impactos e evitar tragédias como as que ocorrem com frequência em nosso país.

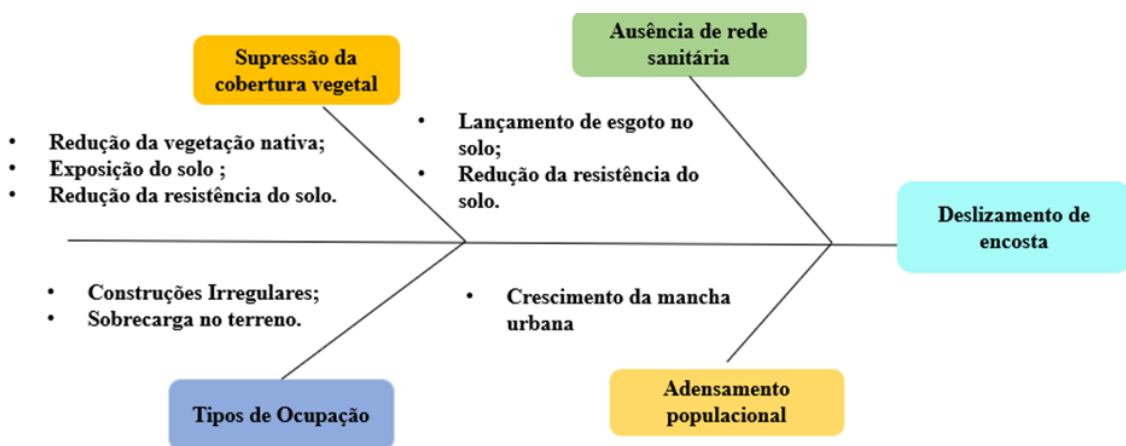
Áreas sob situação de risco representam localidades mais vulneráveis, com sensibilidade de sofrer consequências diretas de ações antrópicas ou naturais (ANDRADE; CALHEIROS; CONCEIÇÃO, 2018). Esse panorama é observado frequentemente em encostas na Região Metropolitana de Recife - PE, situação que atraiu a atenção para uma análise mais aprofundada no local.

Nos últimos anos, acidentes como deslizamento de terra tem se tornado cada vez mais frequentes. Em 2022, mais de 130 pessoas foram vítimas das fortes chuvas que atingiram o Estado pernambucano e a grande maioria das mortes foram de deslizamento de encostas.

2.2.1 Deslizamento de encostas em áreas de risco

Almeida (2021), analisou através de um diagrama de causas e efeitos (Figura 3), os principais fatores e indicadores que favoreceram ao deslizamento de uma encosta situada na Cidade do Recife/ PE, no inverno de 2019. A encosta estudada (Figura 4) por Almeida (2021), sofreu um deslizamento em julho de 2019, acarretando a morte de um dos moradores do local além de trazer prejuízos econômicos. A ocupação irregular é bastante evidente na encosta, potencializando o risco de novos acidentes.

Figura 3: Diagrama de Causa e Efeito.



Fonte: Adaptado de Almeida (2021).

Figura 4: Encosta estudada por Almeida (2021).



Fonte: Almeida (2021).

Para o indicador ambiental “supressão vegetal”, uma das principais causas foi a redução da vegetação nativa, o aumento do solo exposto e a redução da resistência ao cisalhamento do solo. Para o indicador “ausência de rede sanitária”, as causas foram o lançamento de esgoto diretamente no solo e a redução na resistência ao cisalhamento do solo. Para o indicador ambiental “tipos de ocupação”, as causas mais relevantes foram as construções irregulares e a sobrecarga da terra. Por fim, para o indicador “densidade populacional,” a causa mais importante é o aumento da expansão urbana no local.

Esses processos ocorrem devido ao avanço da quantidade de habitantes no espaço urbano, surgindo novas formas de modificações no ambiente, e, assim, há o favorecimento da intensificação do processo de antropização, como a supressão da cobertura vegetal, a descaracterização do relevo e danos aos cursos d’água (PEREIRA; NUNES; ARAÚJO, 2021).

Dentre os anos de 1988 a 2023, o total de vítimas em todo território brasileiro foi de 4.196, com média anual de 119 vítimas. Em fevereiro de 2023, houve um deslizamento de terra no Litoral Norte de São Paulo, vitimizandando 50 pessoas. Dentre os dados de óbitos há quatro grupos, conforme Tabela 1.

Tabela 1: Distribuição do número de óbitos por grupo, entre os anos de 1988 e 2023.

Grupo	Nº de óbitos	Distribuição
I	< 30	23%
II	31 - 100	51%
III	101 - 300	20%
IV	> 301	6%

Fonte: Adaptado de Macedo e Sandre (2022).

O grupo I, anos em que os eventos não passaram de 30 óbitos, equivalente a 23% da distribuição; o grupo II, que corresponde a um número de fatalidades entre 31 e 100, 51%; o grupo III, que geraram entre 101 e 300 mortes, equivalente a 20%; e o grupo IV, em que o número de vítimas passou de 301, proporcional a 6% dos casos, correspondendo a 2011 e 2022 (MACEDO; SANDRE, 2022).

Ainda de acordo com Macedo e Sandre (2022), observa-se que existem alguns casos anômalos ao longo dos anos, porém entre toda a distribuição, o ano de 2011 apresenta maior destaque, pois possui um número de óbitos maior (969) que os outros anos. Isto se deve a um evento extremo que atingiu a Região Serrana do Rio de Janeiro no verão de 2011, conforme Tabela 2, que atingiu principalmente os municípios de Nova Friburgo (429 mortes), Teresópolis (382 mortes), e Petrópolis (74 mortes), totalizando nessa região 885 mortes.

Tabela 2: Mortes na região serrana do Rio de Janeiro, causadas por eventos climáticos no ano de 2011.

Nº de Mortes	Região Serrana do Rio de Janeiro
429	Nova Friburgo
382	Teresópolis
74	Petrópolis
885	Total

Fonte: Fonte: Adaptado de Macedo e Sandre (2022).

Outro ano que se destaca é 2022, com 443 vítimas. No grupo III, houve entre 101 a 300 mortes, ocorrendo nos anos de 1988, 1995, 1996, 2003, 2008, 2010 e 2020 (MACEDO; SANDRE, 2022). Em relação aos resultados, o estado que apresenta o maior número de óbitos é o Rio de Janeiro, com 3,8 vezes mais que o estado de São Paulo que aparece em segundo lugar, Minas Gerais em terceiro e em quarto lugar Recife (MACEDO; SANDRE, 2022).

O estado de Pernambuco possui em suas características climáticas, fatores potencializadores ou até mesmo deflagradores de situações de risco, cujas isoietas anuais chegam a 2.000 mm (SANTOS *et al.*, 2018). Em 2022, Pernambuco teve um total de 132 vítimas no período de inverno, em decorrência dos altos índices pluviométricos que se intensificaram com as ações antrópicas na região (MACEDO; SANDRE, 2022), conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3: Mortes em Pernambuco por eventos climáticos em 2022/2023.

Nº de Mortes	Cidades de Pernambuco
64	Jaboatão dos Guararapes
50	Recife
7	Camaragibe
7	Olinda
1	Paulista
1	Bom Conselho
1	Limoeiro
1	Jaqueira
1	Iati

Fonte: Fonte: Adaptado de Macedo e Sandre (2022).

Em decorrência do que foi exposto sobre deslizamentos de encostas em áreas de risco, ações sociais e educativas têm sido realizadas, através do trabalho de lideranças comunitárias em conjunto com ações da Defesa Civil Municipal, nas comunidades da Cidade de Recife como forma de conscientizar a população, sobre os riscos e as práticas que devem ser tomadas por esses moradores, para evitar acidentes com deslizamento de encostas.

2.2.2 Ações educativas em áreas de risco

Para prevenção de desastres Naturais no Estado de Pernambuco, com base na Política Nacional de Proteção e Defesa Civil, com vistas a elaboração de uma proposta de sensibilização/educação para a percepção de riscos e vulnerabilidade de comunidades na Região Metropolitana do Recife a partir das Políticas Nacionais de Educação Ambiental e de Defesa Civil (CAVALCANTE, 2016).

Muitas ações educativas vêm sendo realizadas em áreas de risco no município de Recife, dentro de escolas, nas comunidades (Figura 5). O Núcleo Comunitário de Proteção e Defesa Civil (NUPDEC) que é uma proposta educativa prevista na Política Nacional de Proteção e Defesa Civil, para fortalecer a preparação, prevenção da população das áreas de risco. Os

núcleos visam à aproximação da Defesa Civil com as comunidades fortalecendo na busca da prevenção dos riscos (PREFEITURA MUNICIPAL DE RECIFE, 2023).

Figura 5: Ações educativas sobre áreas de risco nas escolas municipais da cidade do Recife.

Figura 5: Ações educativas sobre áreas de risco nas escolas municipais da cidade do Recife.



Fonte: Elaborado pela autora.

A Defesa Civil também realiza vistorias técnicas nas áreas de maior risco com o objetivo de:

- Indicar alternativas de ações e obras consideradas adequadas à realidade física das áreas;
- Implantar medidas antecipadas que disciplinem o caminho das águas pluviais e servidas, através de obras de drenagens e intervenções nas encostas;
- Envolver e conscientizar a população da necessidade de reduzir os riscos em prol de obter a segurança.

2.3 Resíduo da Construção Civil (RCC)

De acordo com a resolução 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA que dispõe sobre a gestão desses resíduos, conceitua os mesmos como:

Resíduos da construção civil: são provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha.(BRASIL, 2002, p. 95).

A Resolução Nº 307/2002 do CONAMA (BRASIL, 2002), classifica os resíduos reciclados utilizados como agregado pela construção civil como resíduos classe A que podem ser originados por:

- Construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação além de solos provenientes de terraplenagem;
- Construção, demolição, reformas e reparos de edificações: materiais cerâmicos (blocos, telhas), argamassa e concreto;
- Processo de fabricação e demolição de peças pré-moldadas de concreto (tubos, blocos) produzidos no canteiro de obras (BRASIL, 2002).

Em 16 de Agosto de 2004, entrou em vigor a resolução nº 348 do CONAMA que altera o art.3º, item IV, da Resolução nº 307, passa a vigorar com a seguinte redação:

IV – 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, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde.

De acordo com as Resoluções nº 307 e 348 os resíduos da construção civil são identificados em quatro classes, conforme Tabela 4.

Tabela 4: Resoluções nº 307 e 348 resíduos da construção civil classificados em quatro classes.

CLASSES	DEFINIÇÕES
I- Classe A	São os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem; b) de construção, demolição reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto; c) de processo de fabricação ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;
II - Classe B	são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros;
III - Classe C	são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso;
IV - 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, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde.

Fonte: Adaptado de resolução nº 348 do CONAMA que altera o art.3º, item IV, da Resolução nº 307.

O reaproveitamento de materiais reciclados é totalmente possível, a reciclagem além de proporcionar importantes benefícios ambientais e socioeconômicos, injeta no mercado consumidor um material com grande potencial de utilização, desde que sejam escolhidos os usos adequados desses reciclados e respeitadas às limitações técnicas (SANTOS, 2023; SOUZA *et al.*, 2023).

2.3.1 Geração de Impactos Ambientais causados pelo RCC

Com o avanço tecnológico e, conseqüentemente, o adensamento urbano, houve uma intensificação na produção de resíduos, aspectos que motivaram a preocupação com o meio ambiente (CAMILO *et al.*, 2022; GARCEZ *et al.*, 2020; SOUZA *et al.*, 2023). No Brasil, a disposição irregular deste material tem causado enchentes, perda de infraestrutura de drenagem por entupimento de galerias e assoreamento de canais, além da proliferação de vetores, poluição e do aumento desnecessário dos custos da administração pública (PAZ; LAFAYETTE, 2016; PAZ *et al.*, 2018; PAZ *et al.*, 2020 VIEIRA *et al.*, 2021).

Os RCC representam 30 a 40% do total de resíduos sólidos gerados no mundo (AKHTAR e SARMAH, 2018). Em 2022, cerca de 76,1 milhões de toneladas foram coletados no Brasil, o que corresponde a mais de 354 kg per capita (ABRELPE, 2022). No mesmo ano, a região Sudeste, a mais populosa do país, foi responsável por mais da metade desses resíduos.

A reciclagem e reutilização de resíduos gerados em obras podem trazer diversos benefícios, incluindo a redução de custos e preservação de recursos naturais. Embora haja um investimento inicial necessário para a compra de equipamentos de reciclagem, esse custo pode ser compensado pelos resultados positivos alcançados com a reutilização dos resíduos e a redução do desperdício (CAMILO *et al.*, 2022; DANTAS, 2022; OLIVEIRA JÚNIOR *et al.*, 2022; VIEIRA *et al.*, 2021).

2.3.2 Utilização do RCC na Construção Civil

O aumento da geração de RCC pelas atividades da construção civil cresceu em importância mundial, pois diariamente são descartadas milhões de toneladas de entulho em todo mundo. Diante disso, o despejo adequado de resíduos de construção passou a ser de fundamental importância para a preservação do meio ambiente, bem como o desenvolvimento de soluções que visam minimizar os impactos causados pelo descarte inadequado desses materiais (SILVA, FUCALE, FERREIRA, 2019; SOUZA *et al.*, 2023).

Segundo Leite e Lucena (2022), uma alternativa para a redução da quantidade de resíduos da construção dispostos no meio ambiente é a reciclagem do RCC que a indústria gerou, reduzindo o descarte desse material para o meio ambiente. O aproveitamento dos resíduos é uma das ações que devem ser popularizadas na construção civil, objetivando uma maior sustentabilidade bem como, a economia de recursos naturais e reduzindo impactos ambientais. Esses resíduos apresentam elevado potencial de reaproveitamento e reciclagem (PIEREZAN *et al.*, 2013; SPOSTO, 2006).

É possível transformar resíduos de construção em materiais de alta qualidade, materiais de construção, como agregados reciclados para diversos usos (ALTSCHUL; OLIVEIRA; NÓBREGA, 2020). A reciclagem é uma realidade comprovada por diversas pesquisas na área, que validam sua utilização.

Verifica-se que é utilizado esses materiais na construção de tijolos ecológicos, em estudos de melhoramento do solo, na produção de concreto, na pavimentação e na cobertura final de aterros.

A fim de alcançar a sustentabilidade no setor construtivo, países da União Europeia, da Escandinávia, Canadá e EUA, entre outros, têm buscado alternativas capazes de mitigar os impactos ambientais, sociais e econômicos dos problemas relacionados aos resíduos provenientes das atividades de construção civil. Assim, a União Europeia é representada por

uma taxa de reciclagem na ordem de 70%, a qual sobe para mais de 80% no caso da Bélgica e da Holanda. Na Alemanha, ainda em 2002, a taxa de reaproveitamento já era acima dos 85% (FREITAS, 2018).

2.4 Reforço do Solo

No ano de 1970, com o desenvolvimento de geossintético surgiu as primeiras técnicas de reforço de aterros sobre solos moles e taludes (RUIZ; MOTA; FORTEZA,2018). Porém, no Brasil foi na década de 80 que surgiu as primeiras obras de reforço do solo, que utilizavam técnicas mais simples com geotêxteis (ANANIAS; TEIXEIRA; DURAN, 2013).

A utilização de estruturas em solo reforçado é uma tecnologia de grande importância para projetos de contenção. Inclusões em obras geotécnicas, possuem a intenção de reforçar a resistência à tração, alterando as características internas dos solos nos quais são inseridos, são muito usadas para a contenção ou estabilização de taludes e aterro e são chamadas de estruturas de solos reforçados (MAPARAGEM, 2017).

Entre as características dos solos reforçados, destaca-se o uso de materiais e do solo local, a possibilidade de execução de taludes mais íngremes, a facilidade de execução de obras em locais de difícil acesso, o apoio sobre solo natural sem necessidade de execução de fundações específicas (ANANIAS; TEIXEIRA; DURAN, 2013).

Os reforços de solo são aplicados principalmente quando este material não apresenta características geotécnicas satisfatórias para a execução de obras, como acontece em solos moles. Para Silveira (2019), a utilização das fibras para o reforço de pavimentos, solos de reaterro, solos de fundação, estruturas de contenção e estabilização de solos tem se mostrado eficaz e competitiva, principalmente nos casos de estabilização de taludes e no aumento da resistência de solos submetidos a esforços altos. Em geral, as fibras podem ser classificadas em naturais, sintéticas, minerais e metálicas.

A reutilização de resíduo da construção civil, como reforço do solo compactado deve ser visto não apenas como uma forma de destinação correta ao resíduo, mas também como uma forma de diminuir a necessidade de matéria prima, tornando-se uma alternativa viável para diversos tipos de obras de engenharia uma prática recompensadora tanto para o meio ambiente quanto para a indústria da construção (DANTAS, 2022; PIVETTA; VENDRUSCOLO, 2020; SILVA; FUCALE; FERREIRA, 2019; SANTOS, 2023).

Com os resultados obtidos por Pivetta e Vendruscolo (2020), pode-se obter parâmetros para a combinação dos resíduos de construção com solo argiloso compactado de forma a compor um novo material que pode ser utilizado como base de fundações superficiais ou como aterros para a construção de estradas.

Segundo Silva, Fucale e Ferreira (2019), a utilização do agregado reciclado de RCC constitui uma alternativa interessante de utilização em obras de engenharia, mitigando os impactos ambientais causados pela exploração de jazidas e pelo descarte inadequado no meio ambiente dos resíduos gerados pelas atividades construtivas. Os RCC são gerados em construções, reformas, reparos, assim como resultantes de escavações de terrenos, sejam provenientes de empresas de pequeno a grande porte ou por geradores informais.

O reforço do solo com agregados tem se enquadrado cada vez mais na tecnologia dos materiais compósitos, sendo estes originados da combinação de dois ou mais elementos diferentes, cujas propriedades não são encontradas nos materiais de origem, uma vez que suas características são otimizadas (MAIA *et al.*, 2014; NATÁRIO, 2017).

Zhou *et al.*, (2021), verificou que na adição de pó de concreto e tijolo reciclado ao solo, houve redução da resistência à compressão quando comparado ao solo natural, contudo, ao adicionar somente 10% de pó de tijolo reciclado no solo, observou-se maiores resistências à compressão.

Pivetta e Vendruscolo (2017), utilizaram resíduo da construção, com os percentuais de 0%, 25%, 50% e 75%, obtendo parâmetros para a combinação dos resíduos da construção com solo argiloso compactado de forma a compor um novo material que pode ser utilizado como base de fundações superficiais ou como aterros para a construção de estradas.

Constatou-se, que as amostras com adição de 50% e 75% de RCC mantiveram um comportamento da variação volumétrica semelhante ao do solo. A partir dos dados de tensão cisalhante e tensão normal de cada resíduo, os coeficientes de correlação linear deram maior que 0,98, o que pode ser considerado bom, para os resultados obtidos no ensaio de cisalhamento (PIVETTA; VENDRUSCOLO, 2017).

O solo reforçado com fibra é um tipo de compósito no qual materiais como fibras de proteína, fibras de vidro, fibras de aço ou outras fibras sintéticas e naturais, são adicionados ao solo para melhorar suas propriedades físicas e mecânicas (CALDEIRA, 2012). Esse reforço é feito para compensar as deficiências da estrutura do solo natural e torná-lo mais adequado para

aplicações geotécnicas específicas (CELESTINO; MENDONÇA; SOBRAL, 2023; SANTOS, 2023; SOUZA *et al.*, 2022).

As fibras naturais como as de bambu, coco, sisal, juta são bastante utilizados para o reforço do solo por serem encontradas com mais facilidade, por ter um custo mais acessível e principalmente por serem biodegradáveis (CELESTINO; MENDONÇA; SOBRAL, 2023; DINIZ *et al.*, 2020). Porém, com o tempo sua resistência diminui gradualmente bem como, a perda da taxa de resistência que varia de acordo com o tipo de material utilizado (SHUKLA, 2017).

Chen *et al.* (2021), utilizou a fibra de bambu para o melhoramento do solo de turba (solo fertilizante). Para 10% de adição de fibras o resultado não foi significativo, porém observaram que a adição de 50% de fibra, em 7 dias de cura, apresentou 40 vezes mais resistência ao cisalhamento do que o solo sem reforço.

De acordo com resultados obtidos através da utilização da fibra de sisal como melhoramento de solo, o teor ideal tem uma variação de 0,4 a 0,8% para o aumento das resistências à compressão e cisalhamento direto (BAI *et al.*, 2019; SILVEIRA; CASAGRANDE, 2021; WU *et al.*, 2020).

A fibra kenaf (fibra de hibisco), utilizada por EsmailpourShirvani *et al.* (2019) apresentou uma alternativa para o melhoramento do solo de encostas, evitando fissuração das camadas de pavimentação e aumentando em 15% a resistência ao cisalhamento do solo.

Santos (2023), obteve acréscimo de resistência à compressão simples com compósitos de solo, RCC e fibra de polipropileno (Figura 6) aos 120 dias. Os resultados ficaram nos intervalos de 170 kPa e 1292 kPa. Comparado com o solo, o compósito S70R29,25F0,75 (70% solo + 29,5% RCC + 0,75% fibras de polipropileno) apresentou um acréscimo de 103% na resistência à compressão simples.

Figura 6: Fibra de Polipropileno.



Fonte: Santos (2023).

Almeida (2021), utilizou fibra de sisal (Figura 7) em compósitos de solo e RCC e alcançou aos 60 dias uma resistência de 702,35 kPa referente a mistura do solo e agregado com o teor de 30% e fibra no teor de 0,25% (S69,75R30F0,25). Essa mistura apresentou acréscimo de resistência de 29,60%, quando comparado ao solo natural no mesmo tempo de cura.

Figura 7: Fibra de sisal.



Fonte: Almeida (2021).

Santos (2020), considera que a adição de RCC e fibras de coco babaçu (Figura 8) apresentaram ganhos da 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 com 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 (SANTOS, 2020).

Figura 8: Processo de beneficiamento da fibra de coco babaçu.



Fonte: Santos (2020).

O reforço com fibras sintéticas tem sido bastante utilizado na construção civil principalmente sendo considerados eficazes na relação de custo-benefício e fácil adaptabilidade (CELESTINO; MENDONÇA; SOBRAL, 2023; DANTAS, 2022; SANTOS, 2023; SOUZA *et al.*, 2022; WOUATONG *et al.*, 2017).

Esses polímeros quando utilizados no melhoramento do solo possuem ductibilidade e boa resistência a tração, além de apresentar grande versatilidade, quando são empregados em compósitos, promove a potencialização da rigidez e ductibilidade, diminuição da fragilidade e ampliação da capacidade de absorção de energia e deformação, propriedades que são necessárias para aplicação do reforço do solo (DANTAS, 2022; GOMES, 2018; SANTOS, 2023).

Os compósitos são misturas com diferentes teores dos elementos que as compõe. Assim, os materiais utilizados nessa pesquisa foram resíduos da construção e fibras de PET após seu processo de beneficiamento, também conhecido como agregado reciclado e o solo pertencente a área de risco.

Souza (2022), utilizaram resíduos reciclados gerando compósitos para produção de tijolos ecológicos (Figura 9). Os resultados obtidos em relação a resistência a compressão à 7 dias, foram superiores aos resultados alcançados pelo tijolos feito somente com solo, ressaltando a eficiência deste material.

Figura 9: Tijolo ecológico.



Fonte: Souza (2022).

2.5 Fibra de Poliéster (PET)

As fibras poliméricas são consideradas bastante promissoras para o reforço de solos, quando observadas a partir da ótica de características ideais para alcançar em um material de compósito. Elas são divididas em minerais, metálicas, poliméricas e naturais, cada tipo com suas características (CELESTINO; MENDONÇA; SOBRAL, 2023; DANTAS, 2022). As fibras de poliéster, especificamente o Polietileno Tereftalato (PET), merece um destaque especial dentre os polímeros por apresentar alta densidade, rigidez e resistência (GOMES, 2018).

O PET é uma das espécies de plásticos mais produzidos no planeta, gerando resíduos que são descartados em aterros sanitários. Esse material tem um alto potencial de reciclagem e reutilização, podendo assim ser utilizado como reforço do solo com fibras através de compósitos, minimizando impactos ambientais. (DANTAS, 2022; GOMES, 2018; LOUZADA; MALKO; CASAGRANDE, 2019; LUCARELLI, 2018; PEDROSA, 2021).

Souza *et al.* (2022) utilizaram resíduos reciclados gerando compósitos para produção de tijolos ecológicos. Os resultados obtidos em relação a resistência a compressão à 7 dias, foram superiores aos resultados alcançados pelo tijolos feito somente com solo, ressaltando a eficiência deste material.

Pedrosa (2021), ao analisar os compósitos de solo com 30% de RCC e 50% de RCC ao final de 60 dias de cura obteve um resultado de 927,09 kPa e 705,88 kPa. Com a adição de 0,5% da fibra de poliéster (Figura 10) obtiveram um resultado de 854,23 kPa de resistência, enquanto as amostras de 1% de fibra obtiveram 790,79 kPa. As misturas envolvendo solo, 30% AR e

0,5% de fibra apresentaram resistência de 902,71 kPa, já as com solo, 50% de AR e 1% de fibra a resistência foi de 743,15kPa.

Figura 10: Fibras de Poliéster (PET).



Fonte: Pedrosa (2021).

Dantas (2022), verificou que dois tipos de PET (filete e micronizado), contribuíram para análise da resistência e o melhoramento de um solo argiloso. O PET filete predominantemente promoveu maior aumento no valor da coesão/intercepto coesivo das misturas em relação ao solo puro, quando comparado ao PET micronizado.

Dos teores e comprimentos testados, o de 5% para o PET micronizado, assim como, a combinação teor de 0,5% com comprimento de 15 mm para o PET filete foram os que se mostraram mais adequados em conferir maiores ganhos de resistência ao solo. Quanto à condutividade hidráulica, os resultados obtidos evidenciaram que o PET tornou as misturas mais permeáveis, quando comparadas à matriz de solo não reforçada (DANTAS, 2022).

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

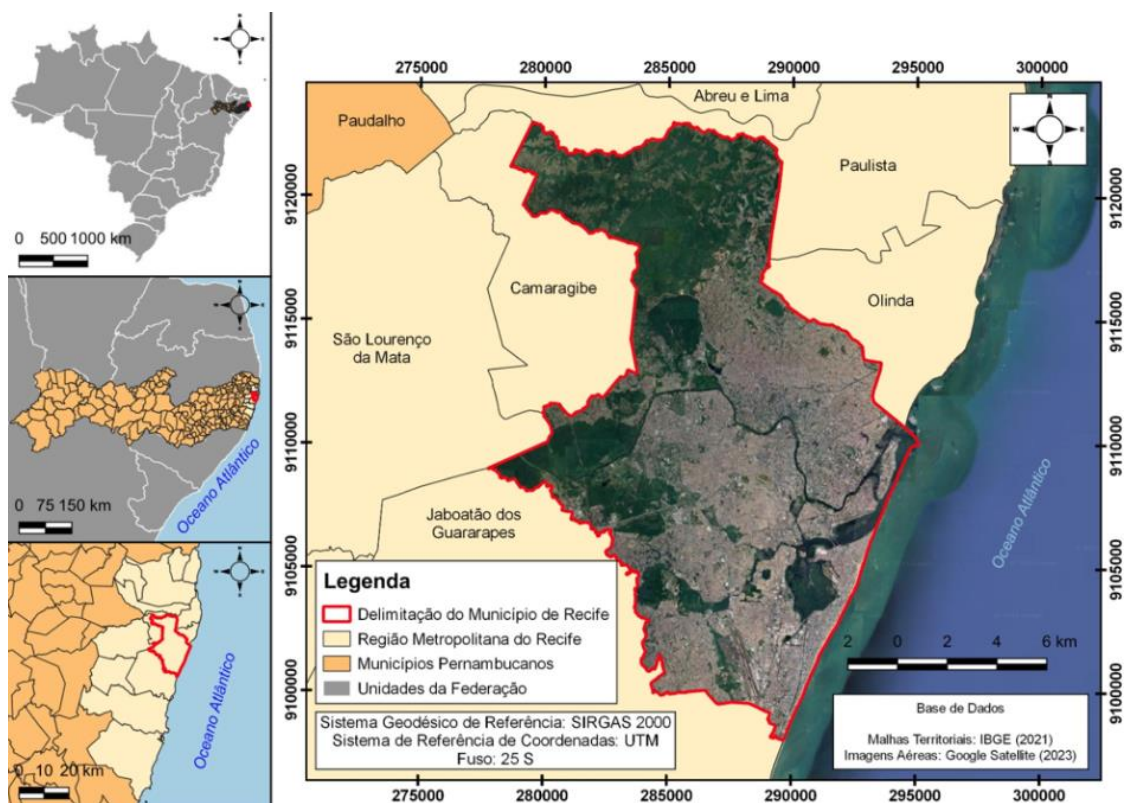
O capítulo apresenta informações sobre os aspectos gerais da Cidade do Recife/PE e da área da encosta investigada, como localização e dados históricos. Também serão abordados dados sobre a geologia, solo, relevo, clima e hidrologia, além dos aspectos de uso e ocupação da Cidade de Recife para melhor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

3.1 Localização

O Município de Recife, capital do estado de Pernambuco, está localizado no Nordeste do Brasil na região costeira (Figura 11), ocupando uma área territorial de 218,843 km² e população estimada de 1.488.920 habitantes (IBGE, 2022). A área territorial da cidade é dividida em 67,43% de morros, 23,26% de planícies, 9,31% de aquáticas e 5,58% de Zonas Especiais de Preservação Ambiental – ZEPA (PREFEITURA DO RECIFE, 2023).

O Município está limitado ao norte com as cidades de Olinda e Paulista, ao sul com Jaboatão do Guararapes, a Leste com o Oceano Atlântico e a oeste com São Lourenço da Mata e Camaragibe (OLIVEIRA, 2018).

Figura 11: Mapa do Município de Recife.

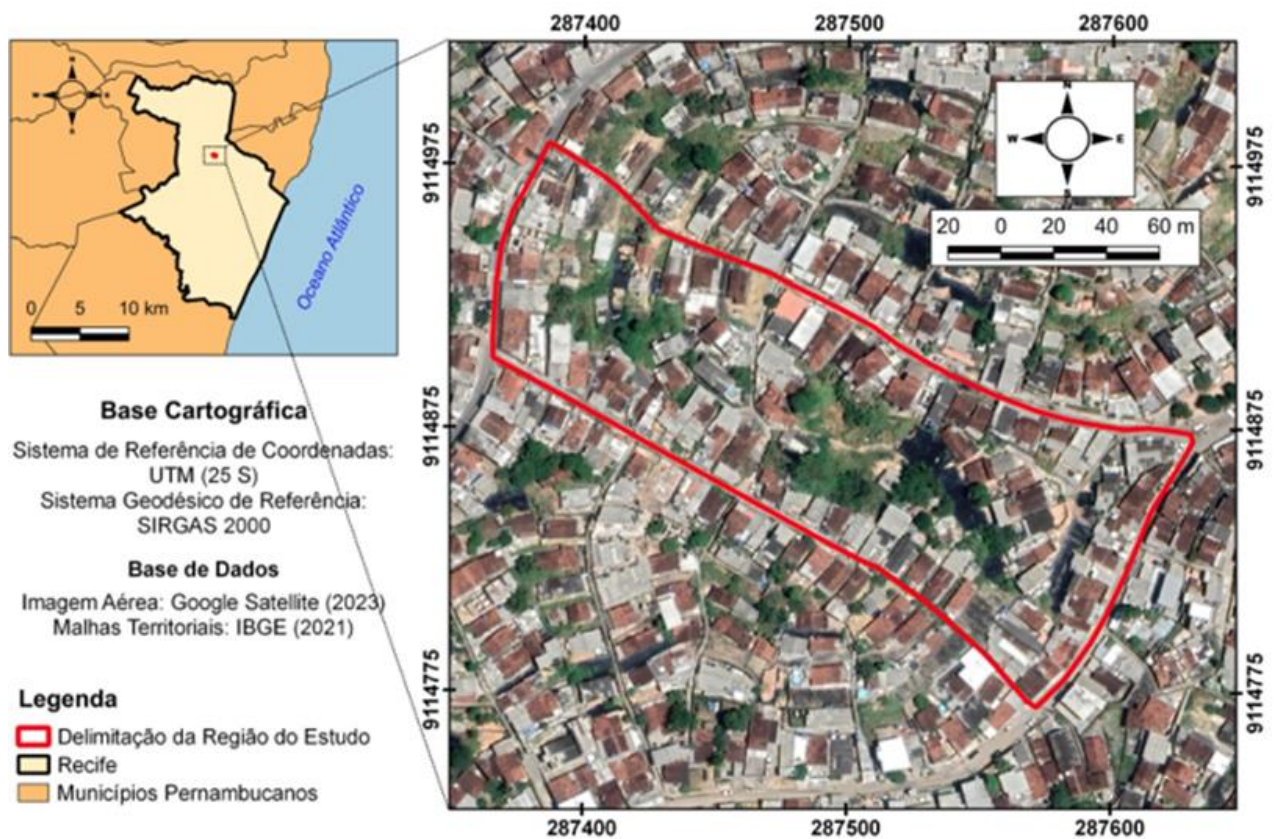


Fonte: Elaborado pela autora.

Xavier *et al.* (2019) relata, que a maior parte dos morros da Região Metropolitana de Recife foi ocupada por populações de baixa renda, devido à apropriação do mercado imobiliário das áreas mais favoráveis à construção de moradia.

A cidade de Recife é dividida em 94 bairros e seis regiões administrativas, as RPA's I, II, III, IV, V VI (PREFEITURA DO RECIFE, 2023). A área de estudo está situada na RPA III, no bairro de Nova Descoberta, especificamente na Rua Córrego do Leôncio (Figura 12), com latitude de 8° 00' 10.0'' S e longitude de 34° 55' 39'' W.

Figura 12: Mapa de localização da região de estudo.



Fonte: Elaborado pela autora.

De acordo com Silva *et al.* (2020), o bairro de Nova Descoberta integra a Microrregião 3.3 e conta com uma área territorial de 1,8 km² e 34 mil habitantes aproximadamente. O bairro está entre os 10 mais populosos de Recife (IBGE, 2013). A encosta estudada, sofreu deslizamentos em junho de 2021 (Figura 13), acarretando um desabamento parcial do imóvel, em Maio de 2022 (Figura 14), onde as ocupações irregulares no entorno, são bastante evidentes potencializando o risco de novos movimentos de massa.

Figura 13: Deslizamento de uma encosta em Maio de 2022 na área de estudo.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 14: Desabamento parcial em imóvel no inverno de 2021.



Fonte: Elaborado pela autora.

3.2 Aspectos Socioeconômicos

A cidade do Recife é um dos principais centros urbanos do Nordeste, e sua economia compõe-se de indústrias terciárias, comércio, serviços e administração pública. O município concentra uma parcela importante do setor do comércio, construção civil e indústria (PREFEITURA MUNICIPAL DO RECIFE, 2023).

O município está dentro da faixa de Desenvolvimento Alto com os valores variando entre (0,700 e 0,799). Entre 2000 e 2010, a dimensão que mais cresceu em termos absolutos foi Educação com um crescimento de 0,160. Seguido por longevidade e renda. Entre 1991 e 2000, a dimensão que mais cresceu em termos absolutos foi Educação com crescimento de

0,129, seguido por Longevidade e por Renda (PREFEITURA MUNICIPAL DO RECIFE, 2023).

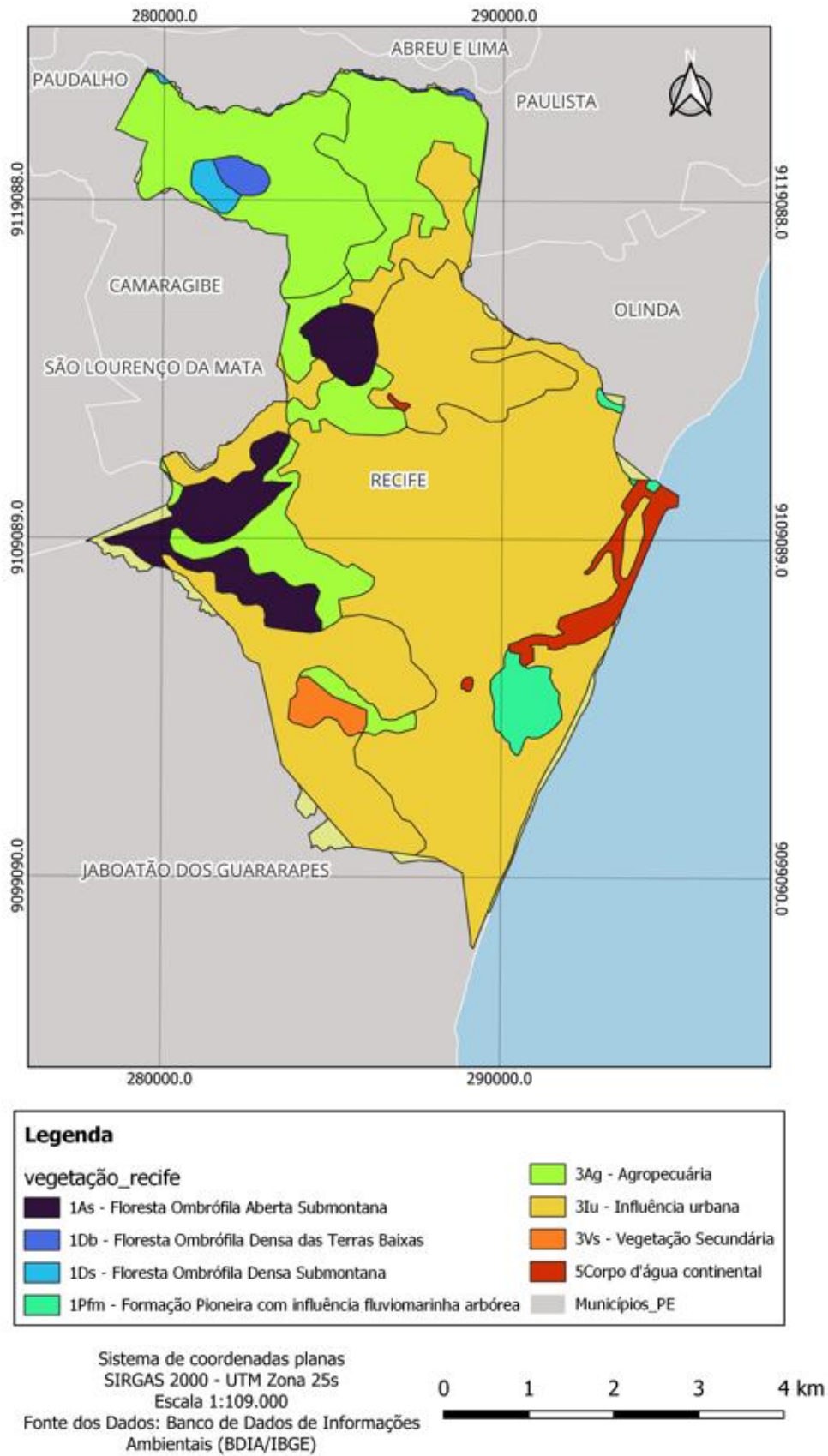
3.3 Aspectos Fisiográficos do Município

3.3.1 Vegetação

A área pertencente a Mata Atlântica (Figura 15) e seus ecossistemas têm sido aos poucos ocupada, transformada e em alguns pontos, preservada. Sendo assim, três tipos de áreas têm apresentado maior predominância na cidade: áreas recobertas com vegetação preservada; áreas com vegetação em simbiose, resultado de uma ocupação significativa; e pequenos pontos isolados de vegetação que ocupam o espaço urbano (PREFEITURA MUNICIPAL DO RECIFE, 2012).

A vegetação é constituída por Floresta Tropical (Mata Atlântica), Campos de Várzea, Restinga e Mangues, atualmente devastadas devido aos aterros e extração ilegal de madeira. A vegetação original de Mata Atlântico foi desmatada e substituída por trechos de solos expostos e vegetação secundária de pequeno porte (BARBOSA, 2010; SANTANA; XAVIER; LISTO, 2017).

Figura 15: Mapa da Vegetação de Recife.



Fonte: Adaptado de Banco de Dados de Informações Ambientais (BDIA/IBGE).

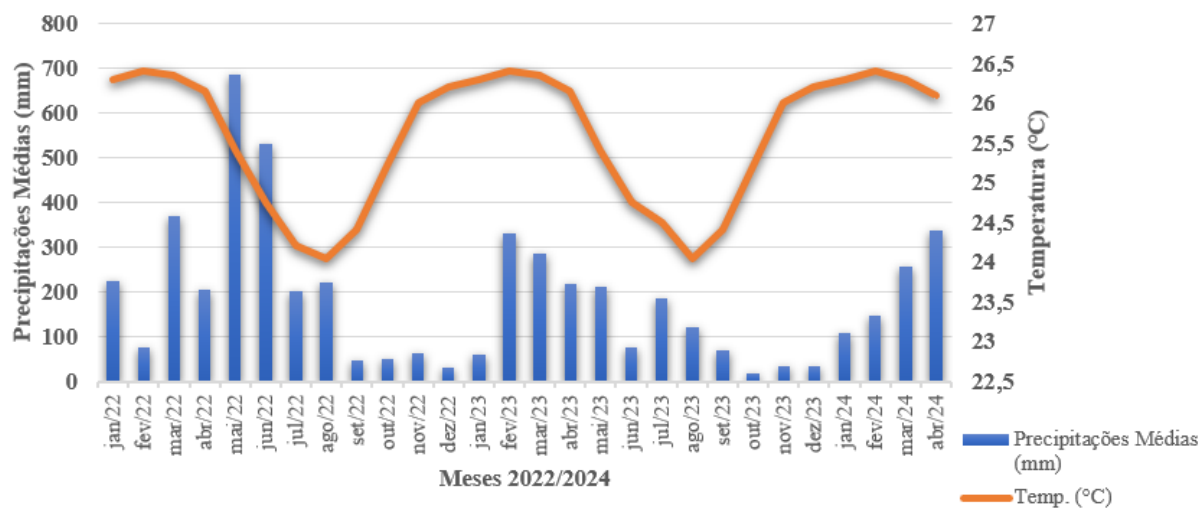
3.3.2 Clima

Na Região Metropolitana do Recife (RMR), o período chuvoso se concentra entre os meses de março e julho, apresentando assim uma estação seca no verão e chuvosa no inverno (SILVA *et al.*, 2016). O clima da cidade se apresenta como tropical quente e úmido, pela classificação Koppen, e a temperatura média anual varia entre 25°C e 27°C.

A variação espaço-tempo da precipitação é uma das principais características dos climas tropicais. Nessas regiões climáticas, os eventos extremos de chuva, associados às formas de ocupação do espaço pelo homem, dão origem a diversos problemas de ordem socioambiental. Em parte, essa desarmonia entre o clima e as feições culturais do espaço pode ser atribuída a não aplicação, no planejamento territorial, da noção de ciclicidade dos fortes episódios de chuva. Em muitos casos, enfatizam-se os conceitos de “anomalia ou fatalidade climática” em detrimento dos ciclos de ocorrência dos eventos pluviométricos (WANDERLEY *et al.*, 2018).

A Figura 16, apresenta as médias das precipitações de chuvas e a temperatura para o ano de 2022 até abril de 2024.

Figura 16: Médias das Precipitações de Chuvas e Temperatura para o ano de 2022/2024.



Fonte: APAC (2024).

3.3.3 Relevo

A geomorfologia da cidade do Recife (Figura 17), está dividida nas seguintes unidades (DA SILVA.W; JÚNIOR; DA SILVA.O, 2018; PEDROSA, 1995):

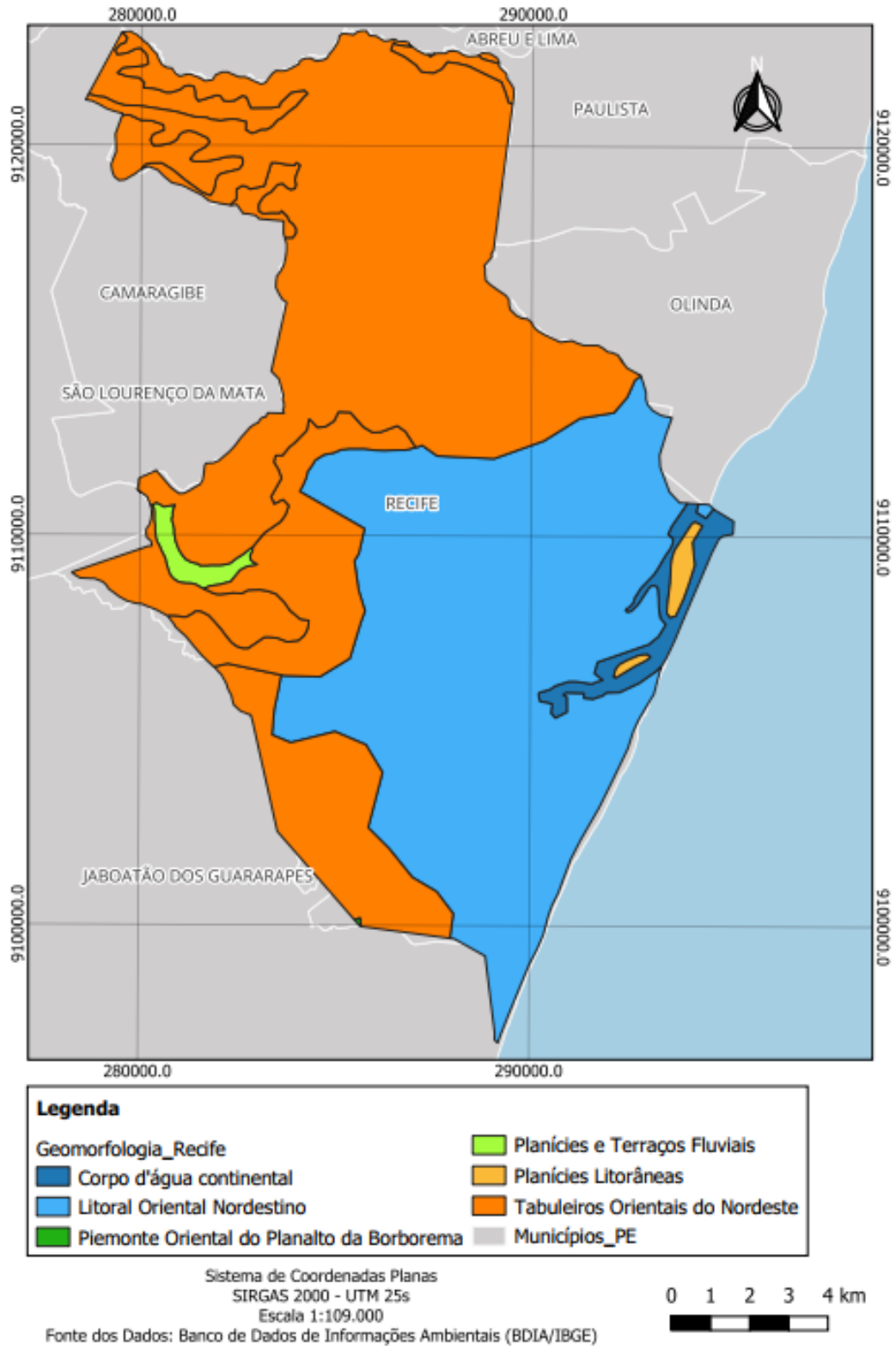
- Modelado Cristalino: Onde o relevo predominante é de colinas, com morfologia irregular, apresentando cotas quase sempre superiores a 100m.

- Tabuleiros Costeiros: Representam um vasto glacis detrítico, com altitudes geralmente entre 40-100m, com interflúvios de topos aplainados. Nos sopés dos tabuleiros costeiros, se formaram rampas de colúvio provenientes da degradação do próprio tabuleiro.
- Domínio Colinoso: Se caracteriza pela presença de colinas suaves e pouco arredondadas e vales geralmente em forma de U.
- Planície Costeira: É uma unidade bastante complexa, pois representa um ambiente de transição entre os fenômenos continentais e marinhos, por isso foi subdividida em cinco unidades, são elas terraços fluviais, terraços marinho superiores, terraços marinho inferiores, baixios de marés e alinhamento de cordões litorâneos e flechas litorâneas.
- Bancos de Arenito e Recifes de corais: Ocorrem dispostos paralelamente ao litoral por longos trechos, formando normalmente duas ou três faixas de bancos apresentando em média 20-60 cm de largura por 3-4m de espessura.

O relevo dos bairros em estudo são os tabuleiros costeiros (Formação Barreiras) e os terraços fluviais da planície costeira (sedimentos aluviais recentes).

As planícies costeiras abrangem uma área significativa do estado de Pernambuco compreendendo um conjunto de ambientes de deposição fluviomarinha, são marcados por extensos manguezais; praias arenosas e terraços marinhos; e os recifes de arenito que caracterizam o litoral de Pernambuco (TORRES; PFALTZGRAFF, 2014).

Figura 17: Mapa de geomorfologia do Recife.



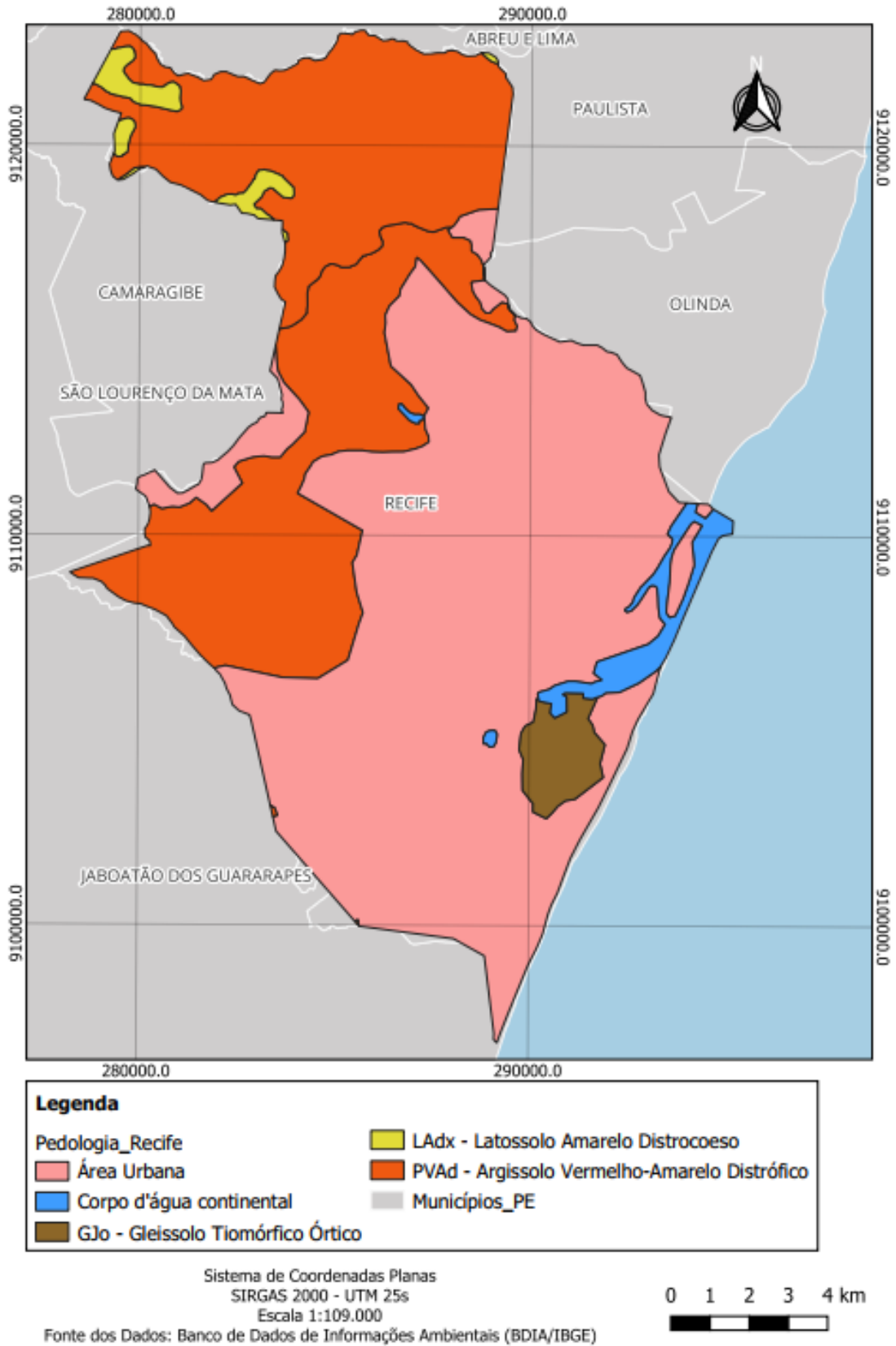
Fonte: Adaptado de Banco de Dados de Informações Ambientais (BDIA/IBGE).

3.3.4 Solo

O solo de Recife é essencialmente areno-argiloso composto de caulinitas e ilitas provenientes do embasamento cristalino, e as rochas vulcânicas básicas têm como alteração, os filossilicatos de ferro e magnésio, dos grupos das esmectitas e cloritas, e com isso, solos argilosos expansivos (VERDE; SANTOS, 2019). Verifica-se também, areias acumuladoras de água dos arenitos da Formação Beberibe e os solos da Formação Gramame, que produzem argilas calcíticas e dolomíticas também expansivas.

O município é formado pela presença de argissolos amarelos, latossolos e gleissolos (Figura 18). Os argissolos compreendem uma classe de solo que apresenta características química, físicas e mineralógicas variando em cores como amarelo, vermelho-amarelo, vermelha e acinzentado. Os latossolos apresentam alto grau de intemperismo e uniformidade no conjunto de características químicas, mineralógicas e físicas. Os gleissolos são classes de solos hidromórficos, típicos de ambiente de várzea (TORRES; PFALTZGRAFF, 2014).

Figura 18: Mapa de pedologia do Recife.



Fonte: Adaptado de Banco de Dados de Informações Ambientais (BDIA/IBGE).

3.3.5 Geologia

A cidade do Recife foi modelada a partir de processos geodinâmicos e como resultado foi possível identificar quatro estruturas geológicas. O embasamento cristalino representa o substrato de rochas cristalinas, que embasa o município e se constitui de rochas de composição granítica. As rochas que compõe o embasamento cristalino apresentam forte tendência de solo argiloso durante o processo de formação do solo residual e condições climáticas. As bacias sedimentares cretáceas situaram-se sobre os blocos do embasamento cristalino, rebaixados por falhas geológicas que ocorreram durante a separação das placas tectônicas Americana e Africana, há aproximadamente 100 milhões de anos. (ALHEIROS; FERREIRA; LIMA FILHO, 1995).

Na área sul do Lineamento Pernambucano formou-se a Bacia Cabo, onde as características apresentam solos depositados sedimentos arenosos de origem fluvial, com idade aproximada de 80 milhões de anos, denominada Formação Beberibe, formada por arenitos e areias quartzosas, siltitos e sedimentos finos, onde são armazenados importantes reservas de água. A formação Barreiras encontra-se recobrimdo o embasamento cristalino, com idade em torno de 2 milhões de anos, formada por depósitos arenosos gerados por sucessivos fluxos de detritos mais comuns na zona norte da cidade (ALHEIROS; FERREIRA; LIMA FILHO, 1995).

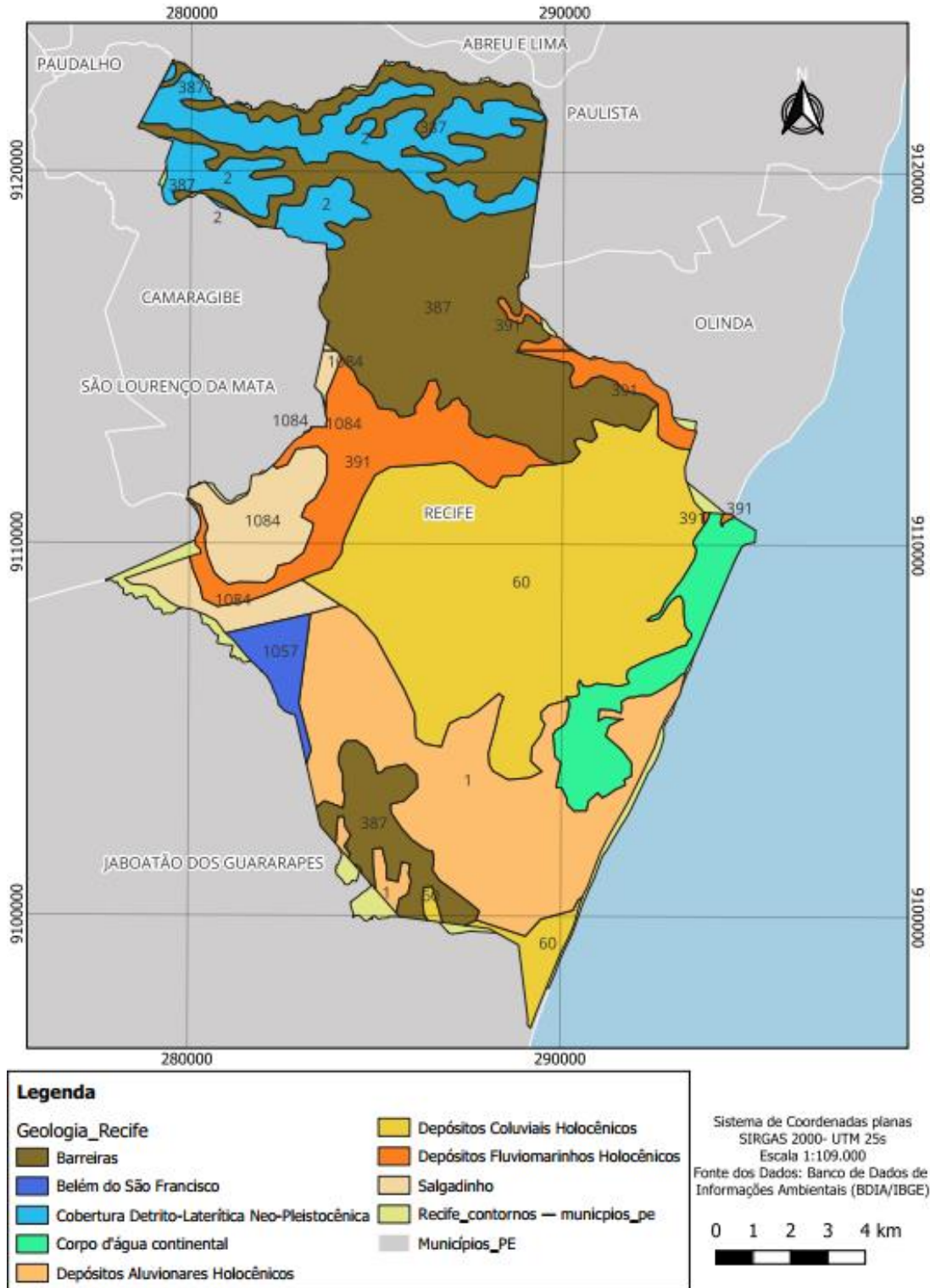
Os sedimentos da Formação Barreiras são considerados inconsolidados e caracterizados por camadas sub-horizontais de granulometria diferenciada, associadas com processos fuviais, considerada a unidade geológica mais expressiva da costa brasileira. Esta unidade geológica possui muitas fácies sedimentares e o entendimento de cada uma um deles é fundamental. (BAÍA *et al.*, 2023; DOS SANTOS; COUTINHO, 2023; OLIVEIRA, 2018; SANTOS; SILVA; VITAL, 2023).

As camadas que a constituem são mais arenosas na base, e passam em direção ao topo para pacotes onde se intercalam camadas arenosas e argilosas, típicas de depósitos por enxurradas (leques aluviais). As areias dessa formação mostram um alto conteúdo de feldspatos, os quais, sujeitos aos processos de argilização sob o clima quente e úmido, favorecem episódios de deslizamentos (ALHEIROS *et al.*, 2004; CAMARGO *et al.*, 2023; FILGUEIRA; VITAL; LUCENA, 2023; FONTOURA; COUTINHO; DA SILVA, 2022).

A Formação Barreiras que se concentra basicamente ao norte do Lineamento Pernambuco se estende ao longo do litoral brasileiro e tem sido objeto de diversas pesquisas, devido sua extensão e variabilidade espacial, além de se encontrar numa região intensamente povoada e de elevado interesse econômico (FREIRE *et al.*, 2022). É a unidade geológica sobre a qual foi construída o bairro de Nova Descoberta.

A Figura 19, apresenta as principais unidades geológicas da Cidade de Recife.

Figura 19: Principais Unidades Geológicas da Cidade de Recife.



Fonte: Adaptado de Banco de Dados de Informações Ambientais (BDIA/IBGE).

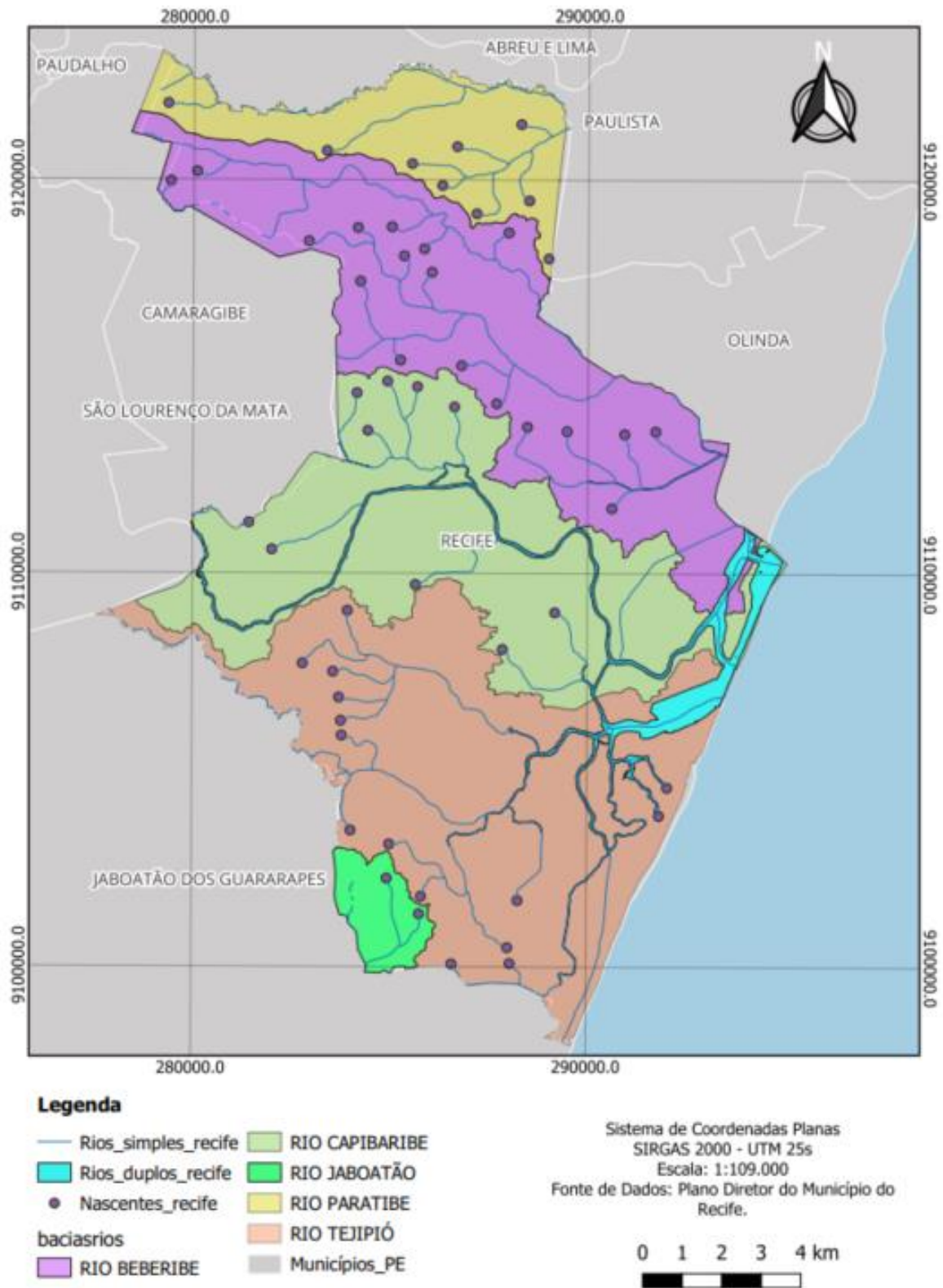
3.3.6 Hidrografia

A bacia do Rio Beberibe, abrange quatro municípios de Pernambuco. Esta bacia hidrográfica desempenha um papel crucial nos sistemas de drenagem da área de estudo. Contudo, o trecho do baixo Beberibe é caracterizado por uma alta densidade populacional, com muitas habitações situadas próximas às suas margens, que na ocorrência de picos de chuvas, resulta em inundações e alagamentos na área (LIMA DOS SANTOS *et al.*, 2022). O curso da bacia do Rio Beberibe, a nordeste são encontrados cabeceiras de drenagem pertencentes ao Rio Morno, afluente no Rio Capibaribe, em seu baixo curso (SANTANA, 2020).

A bacia hidrográfica do rio Capibaribe (Figura 20), está localizada na porção norte-oriental do Estado de Pernambuco, entre 07° 41' 20" e 08° 19' 30" de latitude sul, e 34° 51' 00" e 36° 41' 58" de longitude oeste. Limita-se ao norte com o Estado da Paraíba, a bacia do rio Goiana e grupo de bacias de pequenos rios litorâneos ao sul com a bacia do rio Ipojuca e o grupo de bacias de pequenos rios litorâneos, a Leste com o Oceano Atlântico e os grupos, a oeste, com o Estado da Paraíba e a bacia do rio Ipojuca (APAC, 2023).

A bacia do rio Capibaribe apresenta uma área de 7.454,88 km² (7,58% da área do estado), abrangendo 42 municípios pernambucanos, o rio percorre por vários centros urbanos e serve de receptor de resíduos domésticos e industriais (APAC, 2023).

Figura 20: Mapa das Bacias Hidrográficas da Cidade de Recife.



Fonte: Adaptado de Plano Diretor do Município de Recife (2021).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

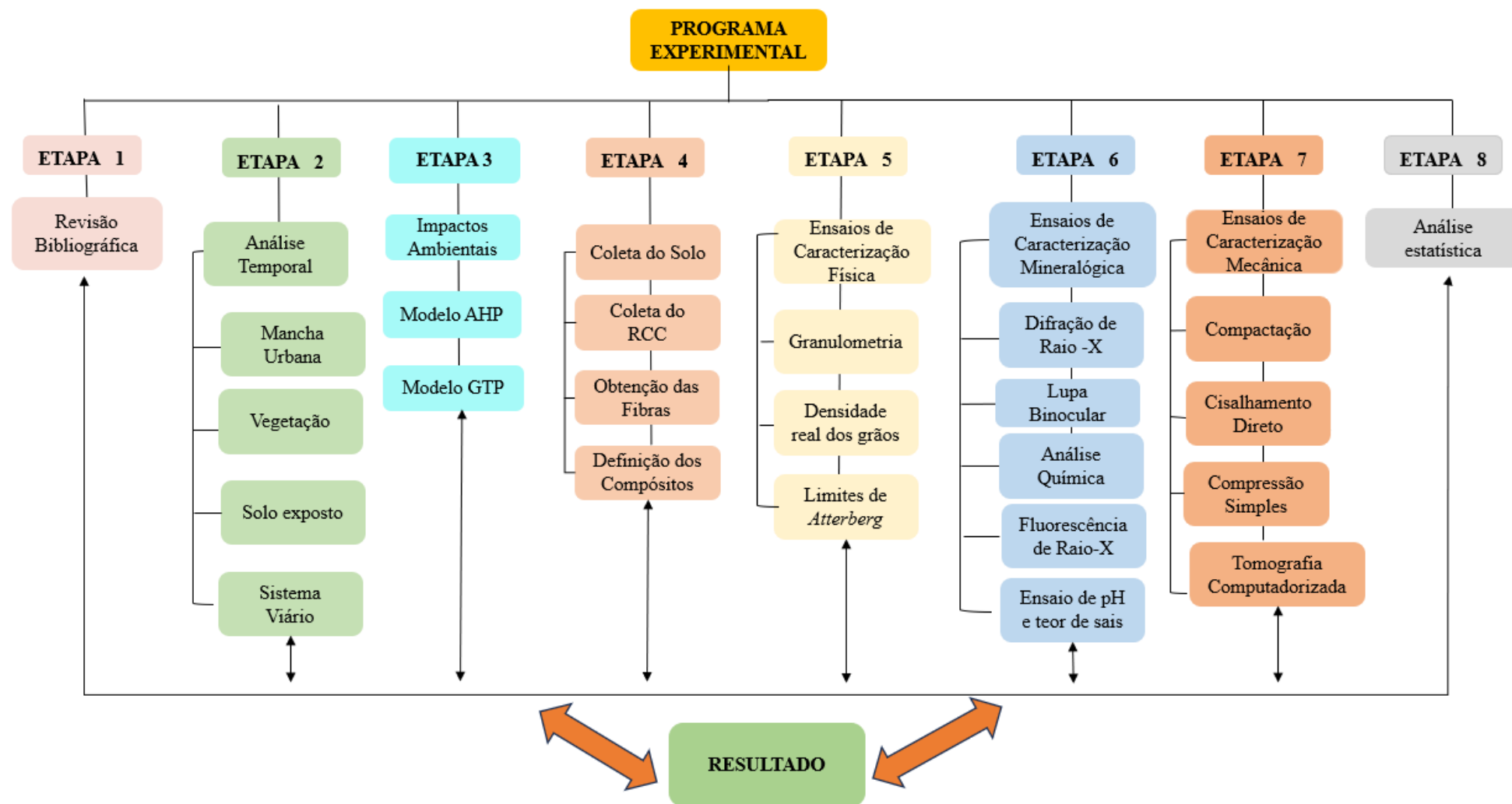
Este capítulo apresenta os materiais e métodos que foram utilizados para a realização da pesquisa, sendo dividida em seis etapas: coleta de material na área de estudo escolhida, análise temporal das tipologias de mancha urbana, solo exposto, vegetação, sistema viário e impactos ambientais da região, caracterização física, caracterização mineralógica e química, caracterização mecânica e por fim análise estatística dos valores de resistência, conforme mostra o fluxograma da Tabela 5 e Figura 21.

Tabela 5: Metodologia adotada para caracterização das amostras.

CARACTERIZAÇÃO	ENSAIOS	LOCAL DE REALIZAÇÃO	QUANT. (UN)	MATERIAL
Física	Análise Granulométrica	Laboratório de Mecânica dos Solos -UFPE	4	Solo; RCC; e (Solo + RCC)
		Laboratório de Mecânica dos Solos -UFPE	4	
	Densidade real	Laboratório de Mecânica dos Solos -UFPE	4	
Mineralógica	Lupa Binocular	Laboratório de Geologia - UFPE	2	Solo; RCC
		Laboratório de Agronomia - UFRPE	2	
	Difratometria de Raio X (DRX)	Agrolab – Análises Ambientais	2	
Química	pH e teores de sais	Laboratório de Química -UFPE	2	Solo; RCC
	Fluorescência de Raio X (ERX)	Laboratório de Mecânica dos Solos -UFPE	8	
Mecânica	Cisalhamento Direto (indeformada)	Laboratório de Mecânica dos Solos -UFPE	50	Solo
	Compactação Proctor Normal	Laboratório de Mecânica dos Solos -UFPE	206	
	Compressão Simples	Laboratório de Mecânica dos Solos UFPE/UPE	3	
	Tomografia Computadorizada	Departamento de Energia Nuclear - UFPE	3	
TOTAL DE ENSAIOS			287	

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 21: Fluxograma das etapas da pesquisa.



4.1 Análise temporal

A análise temporal é uma ferramenta viável para orientar a tomada de decisões na esfera pública, e se destacou por priorizar soluções eficazes para reverter a degradação ambiental em áreas propensas a deslizamentos (FERREIRA *et al.*, 2022). Por fim, a análise de uso e ocupação de uma área se configura como um estudo aplicado, com objetivos descritivos e uma abordagem quali- quantitativa dos impactos ambientais decorrentes da ação antrópica.

4.1.1 Obtenção de Dados

Inicialmente, foi realizada uma visita técnica acompanhada pela equipe técnica da defesa civil de Recife ao local de estudo, onde foi possível observar o avanço nos processos erosivos das encostas e as ações antrópicas como fator determinante para essa problemática.

O histórico de deslizamentos da localidade, ausência do sistema de drenagem, lançamentos indiscriminados, ausência de um sistema de esgotamento sanitário adequado e as ocupações desordenadas, tem sido fatores principais para a instabilidade dos taludes, conforme Figura 22.

Figura 22: Deslizamento de Encosta no Córrego do Leôncio no inverno de 2022 - Nova Descoberta/PE.



Fonte: Elaborado pela autora.

As imagens para a elaboração dos mapas foram obtidas na CONDEPE/FIDEM-PE para os anos de 1975, e 1997 e com o auxílio do programa Esig disponibilizado pela Prefeitura do Recife e Google Earth, foram obtidas as imagens para os anos de 2007, 2013 e 2023.

O polígono da área de estudo foi determinado após trabalho de campo e análise de imagens de satélite, a área de estudo tem um total de aproximadamente 0,0219km². Desta forma, a

quantificação da tipologia da área em cada mapa elaborado foi realizada através da vetorização da poligonal, realizando um recorte espaço-temporal do crescimento urbano e da perda de vegetação nos últimos 48 anos (1975 a 2023).

4.1.2 Georreferenciamento

No QGIS 3.10.9, foi criada, uma camada, no formato vetorial (*shapefile*) do tipo polígono, para cada classe alvo do estudo. A geração dessas camadas se deu a partir de análise supervisionada, ou seja, foram definidas por meio de restituição estereofotogrametria.

Desta maneira, foi possível quantificar as áreas de cada classe identificada no uso e ocupação do solo através da calculadora de campo, disponibilizada pela tabela de atributos dessa camada. O percentual de contribuição de cada classe de uso e ocupação do solo, em relação à área total, foi determinado segundo a fórmula:

$$A_c(\%) = \frac{A_c}{A_t} \times 100$$

Onde:

A_c (%): Percentual de contribuição da área de classe de uso e ocupação do solo;

A_c : Área da classe de uso e ocupação do solo (ha);

A_t : Área total da região estudada (ha).

4.2 Aplicação do Modelo Analítico Hierárquico (AHP)

O modelo AHP (Analytic Hierarchy Process), foi desenvolvido por Saaty (1977) e foi utilizado para essa pesquisa para auxiliar o cálculo da probabilidade. O método, calcula a probabilidade de escorregamentos por meio da análise multicritério, na qual a partir de uma base matemática, organiza e avalia a importância relativa e hierarquizada de fatores condicionantes dos processos, checando-se a consistência dos pesos atribuídos (SAATY, 1991). O modelo vem sendo amplamente utilizado nacionalmente e internacionalmente apresentando resultados com excelente precisão.

É uma metodologia matemática destinada a ponderar quantitativamente variáveis mediante a interação do pesquisador com o modelo. Ao fazer isso, as considerações qualitativas feitas pelo pesquisador, baseadas na sua experiência e no seu embasamento bibliográfico, transforma-se em dados numéricos enquadrados numa modelagem matemática

(BALAGUER; ALVES, 2021; BARBOSA, 2016; GUEDES *et al.*, 2021; PESSOA NETO, 2023; PIMENTA *et al.*, 2019; RAFFO, 2012; TEDESCO *et al.*, 2021; SILVA; NUNES, 2009).

Destaca-se que o método AHP com a combinação de variáveis ambientais permitiu realizar análises espaço-temporal qualitativas e quantitativas das susceptibilidades na área de estudo. Tal fato permite verificar áreas onde os usos dos solos estão adequados, inadequados, apresentam forte erosão hídrica e locais onde os impactos da erosão hídrica são irreversíveis, enfatizando a importância de técnicas de manejo adequadas para diminuir os impactos ambientais (CARVALHO *et al.*, 2020; PESSOA NETO, 2023; SANTANA *et al.*, 2020).

Aplicando o AHP, os fatores condicionantes a movimentos de massa foram dispostos numa Matriz de Comparação Pareada (Tabela 6), em que foram comparados paritariamente.

Tabela 6: Matriz de Comparação Pareada.

Fator	Fator 1	Fator 2	Fator 3	...	Fator n
Fator 1	1	a_{12}	a_{13}	...	a_{1n}
Fator 2	a_{21}	1	a_{23}	...	a_{2n}
Fator 3	a_{31}	a_{32}	1	...	a_{3n}
...
Fator n	a_{n1}	a_{n2}	a_{n3}	...	1

Fonte: Adaptado de Öcül e Şişman (2023).

Para essas comparações paritárias, os fatores foram julgados quanto à influência à ocorrência de movimentos de massa. Para isso, foram atribuídos valores conforme os critérios de importância da Escala Fundamental de Saaty, como apresenta a Tabela 7.

Tabela 7: Escala de comparação de critérios.

Valor	Definição	Explicação
1	Igual importância	Os dois critérios contribuem de forma idêntica para o objetivo
3	Pouco mais importante	A análise e a experiência mostram que um critério é um pouco mais importante que o outro
5	Muito mais importante	A análise e a experiência mostram que um critério é claramente mais importante que o outro
7	Bastante mais importante	A análise e a experiência mostram que é um dos critérios é predominante para o objetivo
9	Extremamente mais importante	sem qualquer dúvida um dos critérios é absolutamente predominante para o objetivo
2,4,6,8	Valores intermediários	também podem ser utilizados

Fonte: Adaptado de Saaty (1991).

Após o preenchimento da Matriz de Comparação Pareada, foi possível definir o vetor de pesos relacionado a essa matriz (Tabela 8). Nesse vetor, cada elemento representa a importância relativa de cada fator, quando comparado aos demais.

Tabela 8: Vetor de pesos associado à Matriz de Comparação Pareada.

Fator	Fator 1	Fator 2	Fator 3	...	Fator n	Auto-vetor	Pesos
Fator 1	1	a_{12}	a_{13}	...	a_{1n}	$\bar{g}_1 = \sqrt[n]{1 \times a_{12} \times a_{13} \times \dots \times a_{1n}}$	$\omega_1 = \frac{\bar{g}_1}{S}$
Fator 2	a_{21}	1	a_{23}	...	a_{2n}	$\bar{g}_2 = \sqrt[n]{a_{21} \times 1 \times a_{23} \times \dots \times a_{2n}}$	$\omega_2 = \frac{\bar{g}_2}{S}$
Fator 3	a_{31}	a_{32}	1	...	a_{3n}	$\bar{g}_3 = \sqrt[n]{a_{31} \times a_{32} \times 1 \times \dots \times a_{3n}}$	$\omega_3 = \frac{\bar{g}_3}{S}$
...
Fator n	a_{n1}	a_{n2}	a_{n3}	...	1	$\bar{g}_n = \sqrt[n]{a_{n1} \times a_{n2} \times a_{n3} \times \dots \times a_{nn}}$	$\omega_n = \frac{\bar{g}_n}{S}$
Soma (ωS)	$\sum_{i=1}^n a_{i1}$	$\sum_{i=1}^n a_{i2}$	$\sum_{i=1}^n a_{i3}$...	$\sum_{i=1}^n a_{in}$	$S = \sum_{i=1}^n \bar{g}_i$	1

Fonte: Adaptado de Saaty (1977).

Posteriormente, segundo determinação do método, foi preciso verificar a consistência dos pesos gerados (SAATY, 1977). Para isso, foi realizado o cálculo da Razão de Consistência (RC), parâmetro que relaciona o Índice de Consistência (IC) e o Índice Randômico (IR), como apresenta a Equação 1.

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad \text{Equação 1}$$

O IC é determinado pelo modelo disposto na Equação 2 e o IR varia em função da quantidade “n” de fatores selecionados para Matriz de Comparação Pareada.

$$IC = \frac{\lambda_{\text{máx}} - n}{n - 1} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

n é a quantidade de fatores e $\lambda_{\text{máx}}$ é o Autovalor máximo, que é obtido através da Equação 3.

$$\lambda_{\text{máx}} = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=1}^n \frac{\omega S_i}{\omega_i} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

$\sum_{i=1}^n \frac{\omega S_i}{\omega_i}$ representa o Vetor Coerência (C),
 ω_i é o Coeficiente de Ponderação (peso) e

ωS_1 é o Vetor Soma, conforme Tabela 8.

Acerca da obtenção do IR, Saaty (1987) propôs uma tabela que relaciona a quantidade “n” de fatores a valores, demonstrados em laboratório, correspondentes. A Tabela 9 apresenta essa relação para matrizes de ordens que variam de 1 a 10. Para este estudo, que foram utilizados 7 fatores, o valor correspondente ao IR foi de 1,32.

Tabela 9: Índices Randômicos (IR).

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IR	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fonte: Saaty (1987).

Segundo Saaty (1987), se a RC resultar em um valor inferior ou igual a 0,10, é considerado que os resultados obtidos estão adequados na comparação dos pares, ou seja, os juízos são consistentes.

4.2.1 Aplicação da álgebra de mapas e verificação da eficiência do mapa de suscetibilidade a movimentos de massa

Nesta etapa, as camadas reclassificadas dos fatores condicionantes a movimentos de massa selecionados para este estudo foram associadas ao vetor de pesos determinado na etapa de aplicação do AHP.

$$M = \omega G_1 \times G_1 + \omega G_2 \times G_2 + \omega P_1 \times P_1 + \omega C \times C + \omega D \times D + \omega P_2 \times P_2$$

Onde:

M representa o mapa de suscetibilidade a movimentos de massa,

G_1 é a geologia,

G_2 é a geomorfologia,

P_1 é a pedologia,

C cobertura da terra,

D é a declividade,

P_2 é a pluviosidade,

ω é o peso do respectivo fator, que é obtido pela aplicação AHP.

Em seguida, o produto gerado pela álgebra de mapas, ou seja, o mapa de suscetibilidade a movimentos de massa foi reclassificado em função dos valores de seus pixels, conforme os critérios estabelecidos na Tabela 10.

Tabela 10: Critérios para reclassificação do mapa de suscetibilidade a movimentos de massa.

Valor do Pixel	Valor da Reclassificação	Nível de Suscetibilidade
0 - 3,50	1	Muito baixa
3,51 - 4,50	2	Baixa
4,51 - 5,50	3	Média
5,51 - 6,50	4	Alta
6,51 - 10	5	Muito alta

Fonte: Elaborado pela autora.

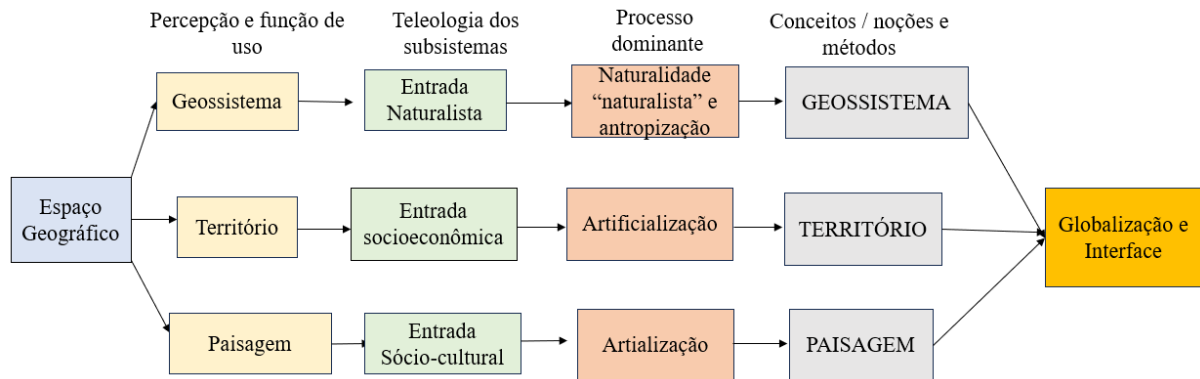
4.3 Avaliação dos Impactos Ambientais pelo Modelo GTP (geossistema, território, paisagismo)

O modelo GTP (Geossistema, Território, Paisagem) é eficaz para compreensão da dinâmica socioespacial, pois possibilita uma visão geral do ambiente, o modelo GTP, que permite uma análise integradora do meio natural, modificado pela ação antrópica em extensas sucessões temporais (DOS PASSOS, 2021; OLIVEIRA; SOUZA; ARAÚJO, 2022).

O sistema GTP (Figura 23), refere-se a construção de um corpo sistêmico mais espaço, que tem como objetivo demonstrar a complexidade do meio ambiente geográfico e sua diversidade. A metodologia é subsidiada por três conceitos espaço-temporais (BERTRAND, G.; BERTRAND, C.; 2002; DA SILVA; DOS PASSOS; SAKAMOTO, 2013; DOS PASSOS, 2021).

- O “geossistema” – representa o espaço- tempo da natureza antropizada.
- O “território” – representa o espaço-tempo das sociedades, aquele da organização política, jurídica, administrativa e aquela da exploração econômica.
- A “paisagem” representa o espaço-tempo.

Figura 23: Sistema GTP



Fonte: Adaptado de Bertrand, G. e Bertrand, C. (2002).

A partir das premissas referentes a cada um dos conceitos que constitui o GTP, pode ser possível estabelecer uma organização teórica metodológica dentro da ciência geográfica que consiga dar conta da complexidade inerente aos estudos do meio ambiente e desta forma alcançar os objetivos para análise geográfica da área (DA SILVA; DOS PASSOS; SAKAMOTO, 2013). Este mesmo modelo foi adotado na pesquisa, para avaliar as modificações geográficas no decorrer do “espaço-tempo” no bairro de Nova Descoberta.

4.4 Coleta de Materiais e definições dos compósitos

Para a realização dos ensaios geotécnicos foram coletadas amostras deformadas de RCC e do solo e amostras indeformadas de solo. As amostras deformadas possibilitam a análise da característica do solo (análise granulométrica, densidade real dos grãos, limites de *Atterberg* e compactação). As amostras indeformadas são utilizadas para o ensaio de resistência ao cisalhamento direto na condição natural e inundada.

4.4.1 Solo

O solo foi coletado na encosta localizada na área de estudo, no Município de Recife-PE, no bairro de Nova Descoberta, na Rua Córrego do Leôncio, totalizando 250kg de material (Figura 24).

Figura 24: Coleta das amostras de solo.



Fonte: Elaborado pela autora.

4.4.2 Resíduo da Construção Civil (RCC)

Foram coletados cerca de 150 kg de agregado reciclado beneficiado, que foi armazenado no Laboratório de Mecânica dos Solos da UFPE. O Resíduo da Construção Civil (RCC), apresentado na Figura 25, foi obtido na Usina de Beneficiamento de Resíduos da Construção Civil – Ciclo Ambiental, localizada no município de Camaragibe-PE.

Figura 25: Resíduo da Construção Civil (RCC).



Fonte: Elaborado pela autora.

A Ciclo Ambiental é uma empresa que oferece ao setor da construção civil a infraestrutura, para a reciclagem de entulhos públicos e privados, garantindo a preservação do meio ambiente e sustentabilidade econômica para o setor. Entre os benefícios que a reciclagem de

RCC traz, pode-se citar a redução do custo de produção, diminuição da contaminação ao meio ambiente e a redução de gastos com a gestão dos resíduos.

Ao passar pelo processo de britagem, o resíduo reduz sua dimensão e passa por um sistema de peneiras mecânicas, que separam os agregados de acordo com seu tamanho comercial. Atualmente a empresa trabalha com a brita nº 25 e nº 19, areia grossa e brita graduada. O armazenamento do material é realizado no próprio pátio da empresa, sendo separados de acordo com o material e granulometria para posterior aplicação.

4.4.3 Fibras de Poliéster (PET)

As fibras utilizadas no desenvolvimento dessa pesquisa são de Polietileno Tereftalato (PET). Os formatos das fibras foram definidos com base na análise de pesquisas científicas, de modo que o comprimento da fibra utilizado foi de 1 cm e espessura de 2 mm cortadas manualmente, conforme Figura 26.

Figura 26: Fibras de Poliéster (PET).



Fonte: Elaborado pela autora.

4.4.4 Definição dos percentuais dos compósitos

As amostras estudadas foram preparadas de acordo com a NBR 6457 (ABNT, 2016), a qual descreve a preparação dos materiais para os ensaios de granulometria, densidade real dos grãos, limites de *Atterberg*, compactação, entre outros ensaios.

Os compósitos foram formados a partir da junção do solo, agregado reciclado e fibras de poliéster. Os teores de cada material estão identificados na Tabela 11.

Tabela 11: Identificação dos Compósitos.

IDENTIFICAÇÃO	COMPÓSITO
S100	Solo (100%)
R100	RCC (100%)
S70R30	Solo (70%) + RCC (30%)
S50R50	Solo (50%) + RCC (50%)
S99,25F0,75	Solo (99,25%) + Fibra de Poliéster - PET (0,75%)
S99,75F0,25	Solo (99,75%) + Fibra de Poliéster - PET (0,25%)
S70R29,25F0,75	Solo (70%) + RCC (29,25%) + Fibra de Poliéster - PET (0,75%)
S70R29,75F0,25	Solo (70%) + RCC (29,75%) + Fibra de Poliéster - PET (0,25%)
S50R49,25F0,75	Solo (50%) + RCC (49,25%) + Fibra de Poliéster - PET (0,75%)
S50R49,75F0,25	Solo (50%) + RCC (49,75%) + Fibra de Poliéster - PET (0,25%)
S85R14,25F0,75	Solo (85%) + RCC (14,25%) + Fibra de Poliéster - PET (0,75%)
S90R9,25F0,75	Solo (90%) + RCC (9,25%) + Fibra de Poliéster - PET (0,75%)

Fonte: Elaborado pela autora.

4.5 Ensaios de Caracterização Física

Os ensaios foram feitos no Laboratório de Mecânica dos Solos da UFPE, dentre eles, os ensaios de: granulometria, densidade real e limites de *Atterberg*, os quais seguiram as diretrizes estabelecidas pelas normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

4.5.1 Granulometria

A composição granulométrica do solo, do agregado reciclado e dos compósitos foram realizadas de acordo com a NBR 7181 (ABNT, 2017). O estudo da parte fina foi realizado através da sedimentação (Figura 27). Dessa forma, o solo, o agregado reciclado e os compósitos formados foram classificados de acordo com o Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS) e com o Transportation Research Board – TRB.

Figura 27: Ensaio de Sedimentação

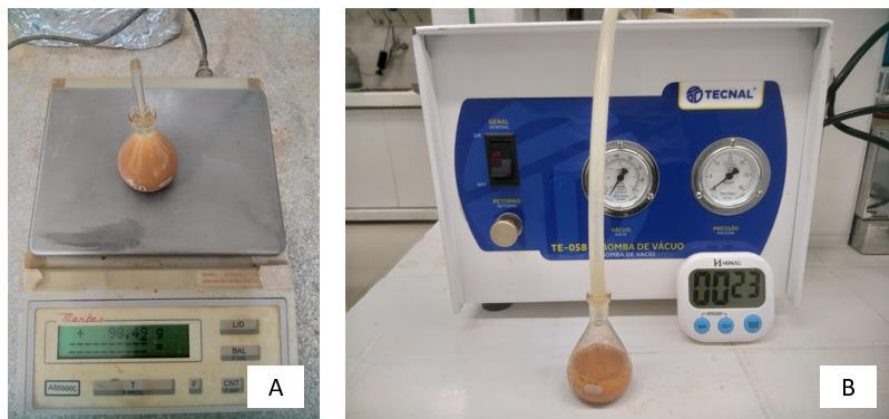


Fonte: Elaborado pela autora.

4.5.2 Densidade real dos grãos

Para determinação da massa específica do solo, do agregado reciclado e dos compósitos foi realizada de acordo com as orientações descritas na NBR 6458 (ABNT, 2016), utilizando picnômetro e bomba a vácuo (Figura 28).

Figura 28: Ensaio de densidade real dos grãos.



Fonte: Elaborado pela autora.

4.5.3 Limites de Atterberg

Em relação aos ensaios de limite de *Atterberg*, foram determinados os limites de liquidez e limites de plasticidade (Figura 29). A execução do ensaio seguiu as determinações estabelecidas na NBR 6459 (ABNT, 2017) e na NBR 7180 (ABNT, 2016), respectivamente.

Figura 29: Ensaios de Limites de Atterberg.



Fonte: Elaborado pela autora.

4.6 Ensaios de Caracterização Mineralógica

Para realização dos ensaios de mineralogia foram utilizadas amostras deformadas. Para o material de fração granular foi utilizada a lupa binocular e, para solos finos foi utilizado a difratometria de Raio- X.

O ensaio de Difratometria de Raio- X foi realizado no Laboratório de Química do Solo, no Departamento de Agronomia da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), com o objetivo de identificar a estrutura da fração do solo mais fino passante da peneira N° 200 (0,075mm). Para este ensaio o equipamento utilizado foi o difratômetro Shimadzu XRD6000 (Figura 30), operando com radiação de Cu $k\alpha$, em velocidade de $1^\circ 2\theta \text{ min}^{-1}$, registrado numa amplitude de varredura de 5° a 70° (2θ).

Figura 30: Difratorômetro Shimadzu XRD6000, utilizado para o ensaio de Difratometria de Raio -X.



Fonte: Elaborado pela autora.

4.7 Ensaios de Caracterização Química

Para a análise química do solo e RCC, foram utilizadas amostras deformadas para obtenção de pH e teores de sais e cloretos através do ensaio de fluorescência de Raio -X.

4.7.1 Ensaio de Fluorescência de Raio- X

Para este ensaio as pastilhas com as amostras de solo e RCC foram secadas em estufa a 110°C. Uma porção de amostra seca foi levada a uma mufla a 1000°C por 2 horas para determinação de perda ao fogo. Uma outra porção de amostra seca foi prensada em cápsula de alumínio com 30 toneladas de força. As pastilhas prensadas foram analisadas em espectrômetro de fluorescência de raios-X- Rigaku, modelo ZSX Primus II (Figura 31). Os resultados foram recalculados para 100% para incorporar o valor de perda ao fogo.

Figura 31: Equipamento para ensaio de fluorescência de Raio-X - Rigaku, modelo ZSX Primus II.



Fonte: Elaborado pela autora.

4.7.2 Determinação do pH

Os materiais e compósitos foram submetidos a análise de pH, de acordo com o Manual de Métodos de Análises de Solo da EMBRAPA (2017). As proporções utilizadas foram de 10g de material inseridos em um copo de plástico de 50 ml e adicionados 25ml de água destilado ou da solução de KCl. Existem três condições possíveis associadas à reação do solo ao pH: acidez, neutralidade e alcalinidade. A Tabela 12 mostra os parâmetros utilizados para a classificação. Este ensaio foi realizado no laboratório de Química da Universidade de Pernambuco (UPE) – Campus Benfica.

Tabela 12: Parâmetros do pH.

TIPO	PARÂMETRO
Acidez Forte	pH < 5
Acidez Moderada a Leve	5 < pH < 7
Neutro	pH = 7
Alcalinidade Leve a Moderada	7 < pH < 9
Alcalinidade	pH > 9

Fonte: Adaptado de Macedo (2013).

A diferença dos valores de pH é expressa como $\Delta\text{pH} = \text{pHKCL} - \text{pHH}_2\text{O}$, indicando se o alumínio é principalmente trocável ou não trocável. De acordo com Brady (1979), o ΔpH da fonte de cargas negativas nos colóides do solo está relacionado principalmente às argilas silicatadas, enquanto no ΔpH positivo, são principalmente óxidos de ferro e alumínio.

4.7.3 Teores de sais e cloretos

A análise química do solo, RCC e misturas foi realizada conforme as diretrizes do capítulo 20 do Manual de Métodos de Análises de Solo da EMBRAPA (2017) que apresenta o procedimento para determinação de sais e cloretos. Estes ensaios foram realizados no laboratório Agrolab.

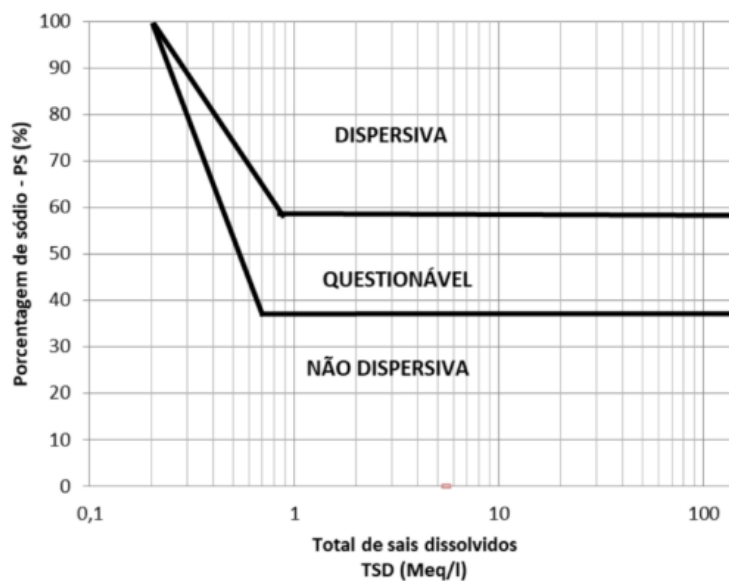
Com os teores de sais encontrados foram calculados, o total de sais dissolvidos (TSD), porcentagem de sódio trocáveis (PST) e razão de absorção de sódio (RAS), conforme Tabela 13. Estes parâmetros foram utilizados para classificar o material quanto a dispersividade através do ábaco (Figura 32) proposto por Sherard, Dunningan e Decker (1976). Para Jesus e Borges (2020) a presença do sódio em um solo afeta a estabilidade estrutural, por modificar as propriedades químicas.

Tabela 13: Equação dos parâmetros dos teores de sais.

PARÂMETRO	EQUAÇÕES
TSD	$TSD = Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^{1+} + K^{1+}$
PST (%)	$PST = \left(\frac{Na^{1+}}{TSD} \right) * 100$
RAS	$RAS = \frac{Na^{1+}}{\sqrt{\left(\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2} \right)}}$

Fonte: Adaptado de Portela (2019).

Figura 32: Ábaco de dispersividade.



Fonte: Sherard, Dunningan e Decker (1976).

4.8 Ensaios de Caracterização Mecânica

Os ensaios de caracterização mecânica dos solos foram realizados em conformidade com as normas NBR 7182 (ABNT, 2020) e NBR 12770 (ABNT, 1992). Os ensaios foram realizados no Laboratório de Solos e Instrumentação da UFPE - *Campus* Recife.

4.8.1 Compactação

A execução do ensaio seguiu as especificações descritas na NBR 7182 (ABNT, 2016). A energia empregada foi de Proctor Normal, com reuso de materiais, aplicada para amostras de solo e seus respectivos compósitos. O ensaio foi executado utilizando um soquete e um cilindro pequeno (Figura 33). Após a moldagem, extração e pesagem do corpo de prova foi retirada uma pequena amostra de sua parte central, que foram levadas em cápsulas à estufa para a determinação da umidade.

Figura 33: Ensaio de compactação do solo.

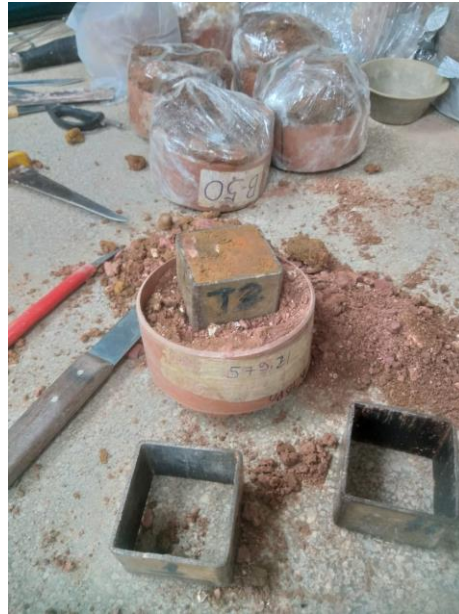


Fonte: Elaborado pela autora.

4.8.2 Resistência ao Cisalhamento Direto

Para determinar a resistência ao cisalhamento foi utilizado método do ensaio de cisalhamento direto. Esta análise foi realizada no Laboratório de Solos e Instrumentação da UFPE. Foi utilizado o equipamento da marca Testop, conforme Figura 34.

Figura 34: Moldagem dos corpos de prova e determinação da umidade.

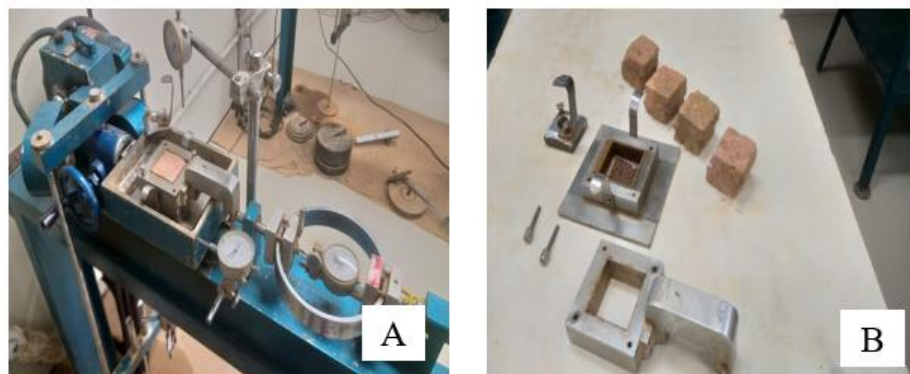


Fonte: Elaborado pela autora.

Os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de cisalhamento direto e foram moldados a partir das amostras indeformadas moldados com dimensões de 5cm x 5cm x 4cm (Largura x Comprimento x Altura).

Ao todo foram moldados 8 corpos de prova, sendo quatro analisados de forma natural e quatro na condição inundada. Os corpos de prova foram submetidos às tensões de 50 kPa, 100 kPa, 200 kPa e 400 kPa conforme Figura 35. Antes de iniciar a aplicação da força de cisalhamento, foi realizada a etapa de adensamento. O término desta etapa de adensamento foi determinado a partir da estabilização das deformações verticais.

Figura 35: Ensaio de Cisalhamento Direto: Início (A) e término (B).



Fonte: Elaborado pela autora.

Ao final da fase adensamento, os corpos de prova foram submetidos a um ensaio de cisalhamento direto, adotando uma velocidade de 0,483 mm/min do deslocamento da parte superior da caixa de cisalhamento, com o intuito de obter os valores dos parâmetros de cisalhamento do solo.

4.8.3 Resistência à Compressão Simples (RCS)

A resistência à compressão simples foi determinada com a compressão não confinada dos corpos de prova, através da aplicação de uma carga e do controle de deformação. A preparação das amostras e o rompimento dos corpos de prova (CP's) foram realizados no laboratório de Solos e Instrumentação da UFPE, conforme Figura 36 .

Figura 36: Preparação do corpo de prova para ensaio de Resistência à Compressão Simples (A) Preparação; (B) Moldagem; (C); Preparação do corpo de prova para câmara úmida; (D) Rompimento do corpo de prova.



Fonte: Elaborado pela autora.

Foram realizados quatro conjuntos com cinco amostras de cada compósito (Figura 37), para serem rompidos com tempo de cura diferentes (7 e 28 dias), no total foram realizados 206 CP's.

Figura 37: Corpos de prova (CPs), para ensaio de Resistência à Compressão Simples.



Fonte: Elaborado pela autora.

4.9 Ensaio não destrutivo (end)

O ensaio utilizando a técnica de Tomografia Computadorizada (TC) de raio-x, é um dos métodos não destrutivos mais modernos e que permite a obtenção de imagens da estrutura interna dos materiais (HSIEH, 2009; LEMES, 2023). Essa técnica consiste em alternativas para caracterização dos materiais, que não geram danos físicos e não afetam as propriedades mecânicas (SANTOS, 2020).

A partir do estudo das imagens obtidas no ensaio de tomografia, é possível definir as propriedades mecânicas e físicas do solo, como: porosidade, densidade do solo, localizar defeitos e vazios, retenção e movimento de água no solo, distribuição espacial do conteúdo de água (AL-HEETY; SHANSHAL, 2016; HSIEH, 2009; PIRES; BACCHI, 2010; SANTOS, 2020; XAVIER *et al*, 2019).

Nesse contexto, a realização do ensaio de TC objetiva 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 segue o mesmo procedimento utilizado no ensaio de compressão simples, sendo moldado um CP para cada material, perfazendo um total de três CP's.

O ensaio foi realizado no laboratório do DEN – Departamento de Energia Nuclear da UFPE. Para a realização do ensaio foi utilizado um microtomógrafo (Figura 38) de raios-x de terceira geração modelo NICON XT H 225 ST, 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, as amostras devem estar envolvidas em filme plástico para minimizar uma possível perda de umidade.

Figura 38: Microtomográfico modelo NICON XT H 225 ST.



Fonte: Elaborado pela autora.

4.10 Análise Estatística

Através dos resultados obtidos dos ensaios de resistência à compressão simples foi realizada uma análise estatística, para verificar as variações das médias dos resultados de cada compósito e posteriormente será gerada uma equação com o teor ideal do solo, RCC e fibra de poliéster (PET).

A Response Surface Methodology (RSM), ou Metodologia de Superfície de Resposta, é de fato uma abordagem estatística utilizada para otimizar processos e analisar o relacionamento entre variáveis independentes e dependentes. Ela é frequentemente empregada em experimentos onde o objetivo é maximizar ou minimizar uma resposta (variável dependente) por meio da manipulação de variáveis independentes. A RSM utiliza modelos matemáticos para representar essa relação complexa (BRUNING *et al.*, 2019; SANTOS, 2023; WANG; CHENG; TAN, 2018).

Diversas áreas de estudo podem se beneficiar dos conceitos utilizados por esse método, especialmente quando se trata de analisar diferentes tipos de solos (WANG; CHENG; TAN, 2018; WANG *et al.*, 2021). Nesse sentido, é possível utilizar os resultados de ensaios laboratoriais como base para a formulação de um modelo matemático que visa otimizar estudos geotécnicos.

Desta maneira, as variáveis independentes selecionadas foram os teores de incorporação do RCC e da fibra de poliéster, devido à influência direta desses componentes no comportamento da resistência à compressão simples (RCS) do compósito, que é a variável dependente do modelo matemático em questão.

Além dos teores de RCC e de fibra de poliéster, foi incluída outra variável independente, o tempo de cura (TC) em câmara úmida. De acordo com os estudos desenvolvidos por Santos (2023), o TC está entre os parâmetros de maior influência positiva para o valor da resistência a compressão simples nesse tipo de estudo.

O método ANOVA (fator único) é uma técnica que possibilita compreender as variações significativas representadas pelo nível de significância de cada variável independente e suas interações no modelo o Valor-P, que não pode ultrapassar de 5% (0,05) (MAZUMDER *et al.*, 2021).

Os coeficientes de (R^2) devem estar acima de 70%, para garantir a significância dos resultados indicando um bom grau de representação para estudos dessa natureza (BRUNING *et al.*, 2019; GÜLLÜ; FEDAKAR, 2017; SANTOS, 2023; SILVA, 2023; WANG; CHENG; TAN, 2018). Sheikhmohammadi *et al.* (2017) afirmam que a diferença entre os R^2 ajustado e previsto, quando menor que 20%, qualifica o modelo como adequado, conforme preconiza na literatura.

A análise estatística, incluindo as curvas de projeção superficial e as variações modais determinadas pelo método ANOVA, será realizada utilizando a licença estudantil do software Minitab 19.

5 RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados da análise temporal da área de estudo, dos ensaios de caracterização física, ensaios químicos, ensaios mineralógicos e ensaios mecânico dos materiais e compósitos, bem como, tomografia computadorizada, análise estatística, análise AHP e modelo GTP.

5.1 Análise Temporal

Através das informações, foi possível constatar que ocorreram variações em todas as classes de utilização do solo, no decorrer dos 48 anos (1975 – 2023), expondo de forma qualitativa as diversas mudanças físicas ocorridas na região, principalmente sobre a forma como a área foi ocupada e o crescimento populacional.

Dessa forma, a partir do georreferenciamento dos mapas, pode-se quantificar a área de estudo em aproximadamente 0,0219km², o que representa 0,010% da área do município de Recife e a partir disso, foi possível analisar e mensurar as tipologias presentes na área.

No mapa de Ocupação do Solo para o ano de 1975 (Figura 39) foi possível perceber o baixo índice demográfico e a área é densamente caracterizada por vegetação nativa. O local apresenta uma pequena representação da mancha urbana. No ano de 1975 o percentual de cobertura vegetal representava 60,73%, mancha urbana 16,44%, solo exposto 10,50% e eixo viário 12,33% do total.

Dessa forma, verificou-se que para o ano de 1975, a área apresentava um processo de drenagem e escoamento superficial natural. No ano de 1997, ocorreu uma redução na variação percentual de 1,83% na cobertura vegetal, que representava 58,90%, enquanto o solo exposto representava 3,20% e a mancha urbana 30,59% (Figura 40).

Houve um crescimento demográfico na área de 86,11% em relação ao ano de 1975, evidenciando o aumento populacional. No entanto, o crescimento populacional afetou a cobertura vegetal da área, perfazendo um processo de desmatamento, bem como possíveis intervenções (cortes e aterros) na área, em favor da criação de espaço para habitação.

No ano de 2007, o nítido aumento da urbanização (Figura 42), fez perceber que Recife apresentou um crescimento populacional significativo no início dos anos 2000. Observou-se também, que a cobertura vegetal foi de 32,88% enfatizando, que já não tem tanta

representatividade na área, quando comparados aos dados de mancha urbana (54,79%) e solo exposto (4,57%).

Para o ano de 2013, a mancha urbana atingiu 61,64%, solo exposto 1,37%, enquanto o eixo viário teve um aumento de 5,88% quando comparado ao ano de 2007, e a área vegetada com redução de 32,88% para 28,77% (Figura 42). Por fim, para o ano de 2023, tem-se o mapa mais representativo da atual situação da Rua Córrego do Leôncio, no bairro de Nova Descoberta (Figura 43).

É aparente o domínio da mancha urbana na área, bem como a pequena parcela de solo exposto agora condizente apenas com pequenos terrenos que foram desapropriados e ruas de acesso. A cobertura vegetal atual representa 21% do total, já a mancha urbana representa 66,67%, o eixo viário permaneceu com 8,22% o mesmo percentual de 2013, não havendo alteração. E por fim, 4,11% de solo exposto.

Verificou-se o aumento da ocupação populacional da área, assim como, a notória redução da vegetação original, no recorte temporal, constatando-se que o crescimento desordenado da zona urbana, associado ao descaso do poder público resultaram em déficits de áreas verdes na cidade de Recife, podendo ser estes os principais fatores que influenciam na instabilidade da encosta, evidenciando o deslizamento que ocorreu nos anos de 2021 e 2022.

Os dados da Tabela 14 e Figura 44, mostram a quantificação das taxas do uso e ocupação do solo (mancha urbana, solo exposto, vegetação e eixo viário), em função do tempo e mostram a variação da taxa de ocupação do solo em função do tempo. Em geral, a tendência de aumento da expansão urbana é baseada no uso de cobertura vegetal e solo exposto, conforme apresentado na Tabela 15 e Figura 45.

Figura 39: Mapa de Uso e Ocupação do Solo – 1975.

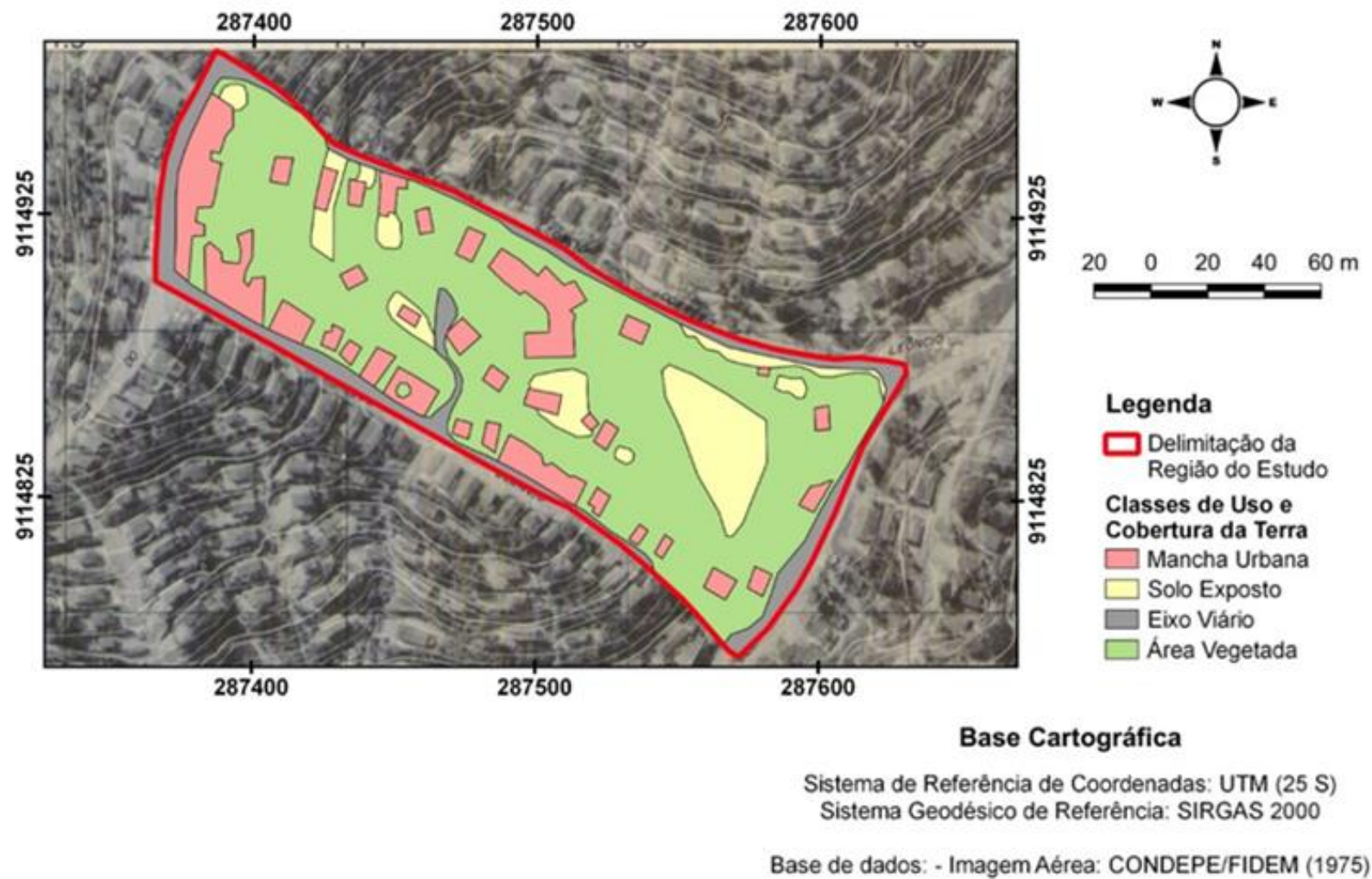
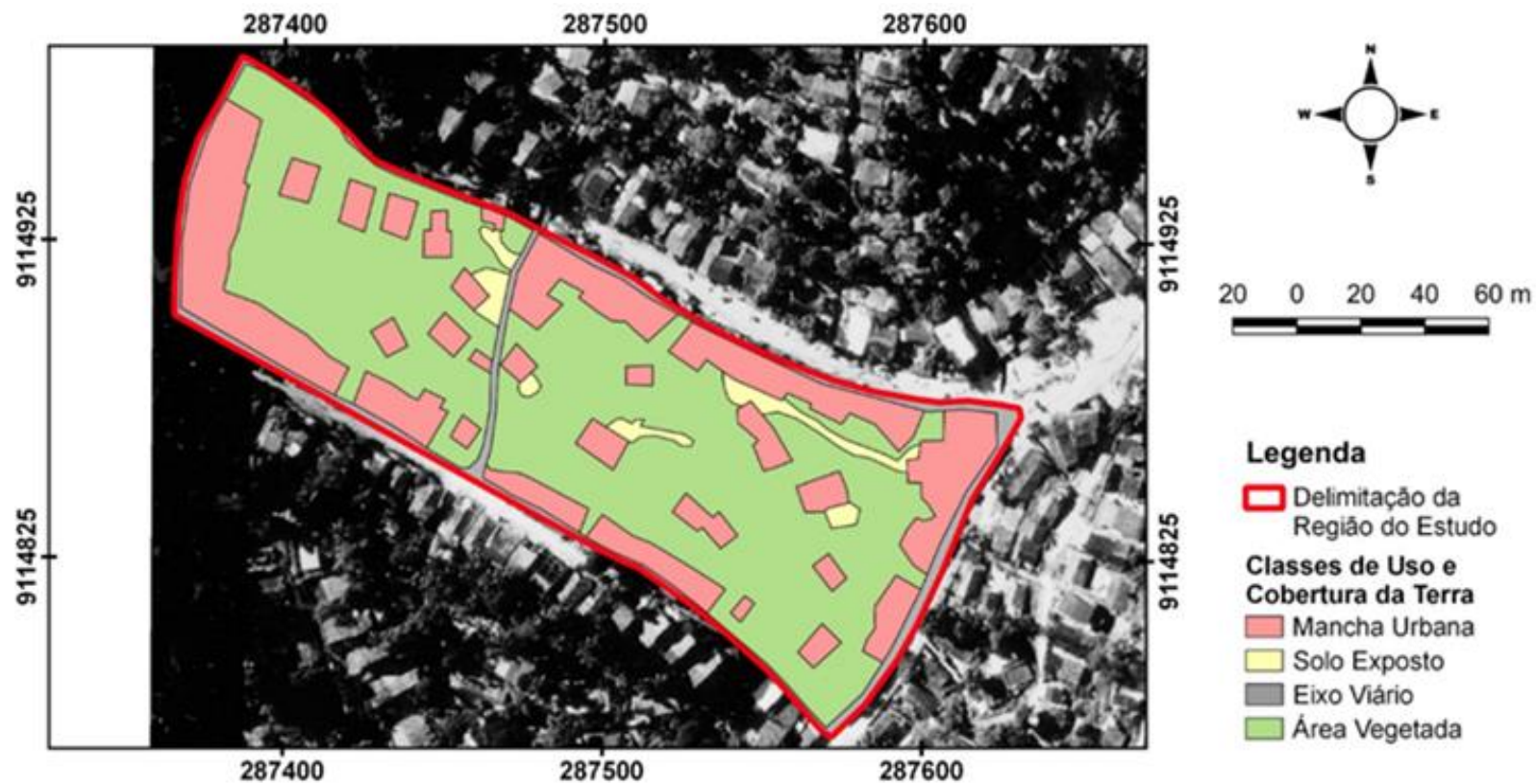


Figura 40: Mapa de Uso e Ocupação do Solo - 1997.

**Base Cartográfica**

Sistema de Referência de Coordenadas: UTM (25 S)
Sistema Geodésico de Referência: SIRGAS 2000

Base de dados: - Imagem Aérea: CONDEPE/FIDEM (1997)

Figura 41: Mapa de Uso e Ocupação do Solo 2007.



Sistema de Referência de Coordenadas: UTM (25 S)
Sistema Geodésico de Referência: SIRGAS 2000

Base de dados: - Imagem Aérea: ESIG (2007)

Figura 42: Mapa de Uso e Ocupação do Solo 2013.

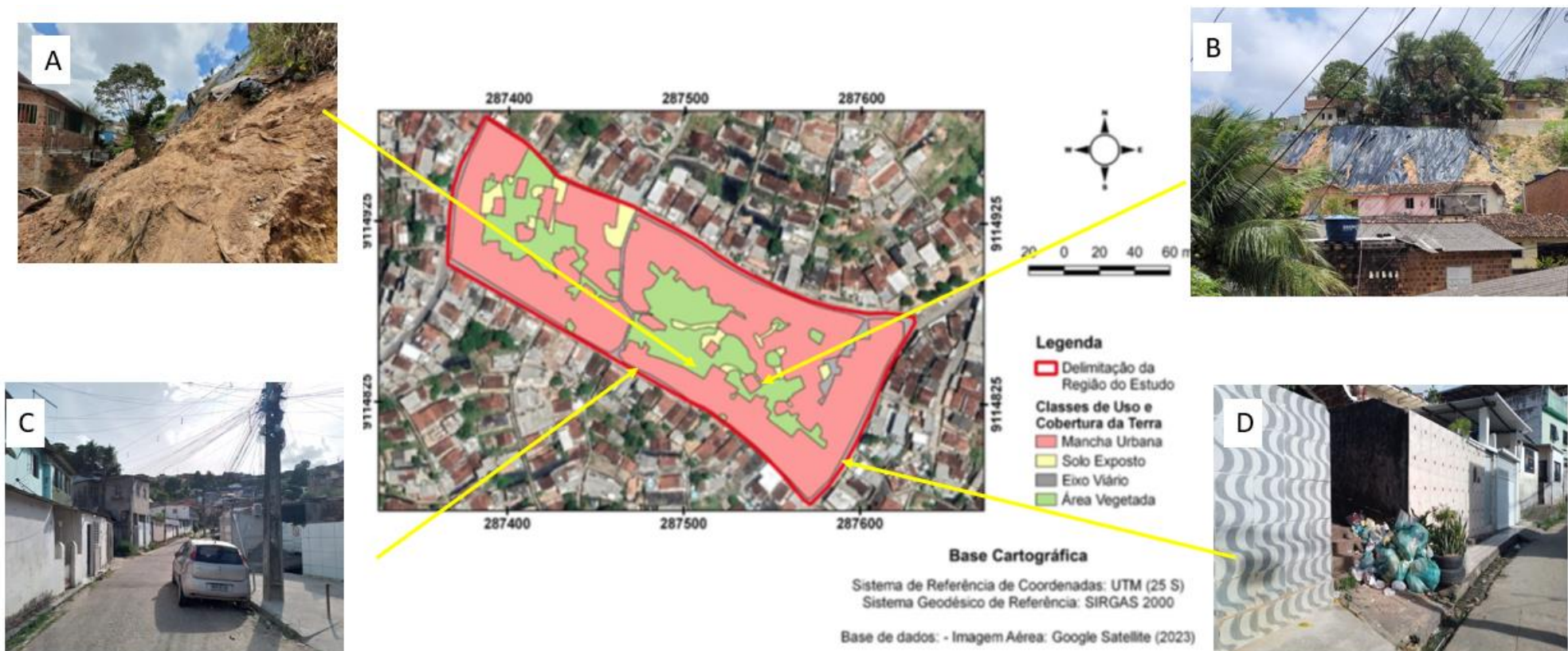


Base Cartográfica

Sistema de Referência de Coordenadas: UTM (25 S)
Sistema Geodésico de Referência: SIRGAS 2000

Base de dados: - Imagem Aérea: ESIG (2013)

Figura 43: Mapa de Uso e Ocupação e do Solo – 2023.



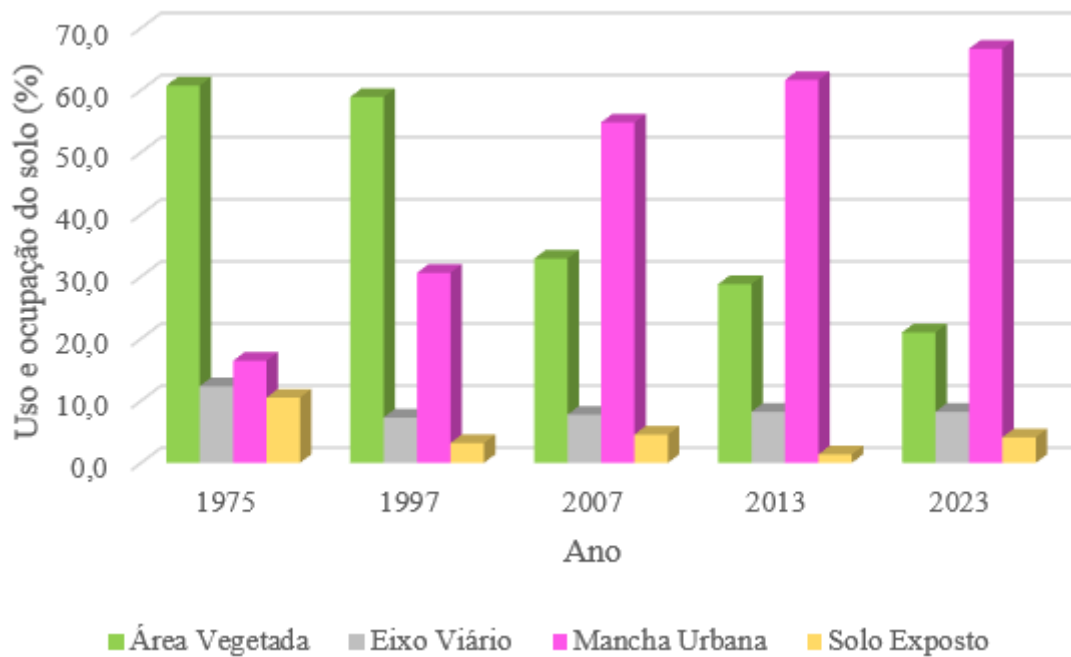
Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 14: Classificação do uso e ocupação do solo na Rua Córrego do Leôncio em Recife.

Classes de Uso e Cobertura de Terra	1975		1997		2007		2013		2023	
	Área (ha)	Taxa (%)	Área (ha)	Taxa (%)	Área (ha)	Taxa (%)	Área (ha)	Taxa (%)	Área (ha)	Taxa (%)
Área Vegetada	1,33	60,73	1,29	58,90	0,72	32,88	0,63	28,77	0,46	21,00
Eixo Viário	0,27	12,33	0,16	7,31	0,17	7,76	0,18	8,22	0,18	8,22
Mancha Urbana	0,36	16,44	0,67	30,59	1,20	54,79	1,35	61,64	1,46	66,67
Solo Exposto	0,23	10,50	0,07	3,20	0,10	4,57	0,03	1,37	0,09	4,11
Total	2,19	100,00	2,19	100,00	2,19	100,00	2,19	100,00	2,19	100,00

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 44: Variação percentual no comportamento de uso e ocupação do solo na Rua Córrego do Leôncio em Recife.



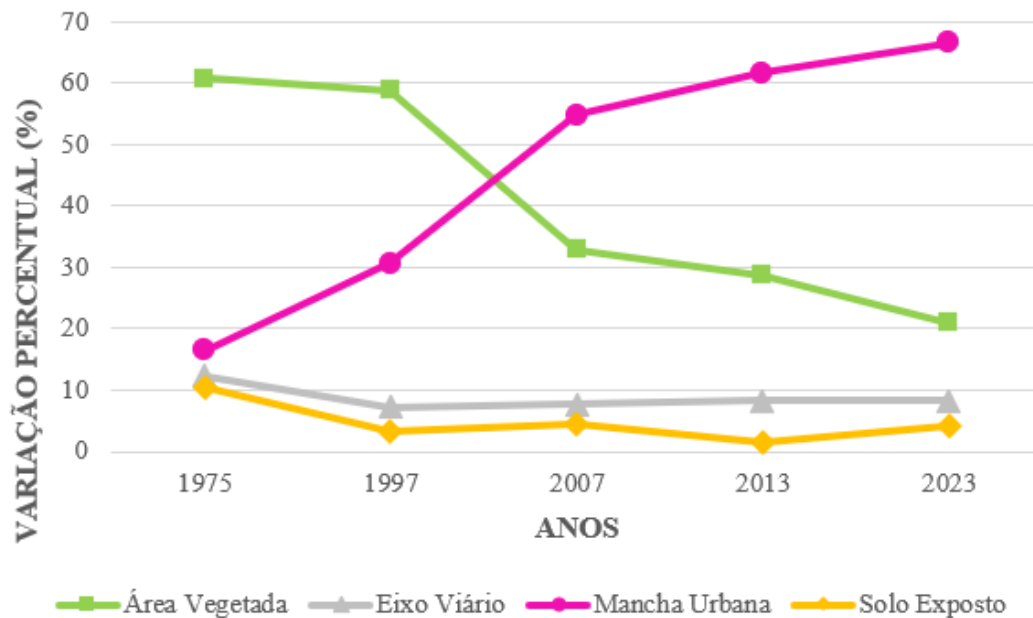
Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 15: Tabela de variação das tipologias por período.

TIPOLOGIA	Variação Percentual por Período (%)				
	1975 - 1997	1997 - 2007	2007 - 2013	2013 - 2023	1975 - 2023
Área Vegetada	(-) 3,01	(-) 44,19	(-) 12,50	(-) 26,98	(-) 65,41
Eixo Viário	(-) 40,74	(+) 6,25	(+) 5,88	0,00	(-) 33,33
Mancha Urbana	(+) 86,11	(+) 79,10	(+) 12,50	(+) 8,15	(+) 305,56
Solo Exposto	(-) 69,57	(+) 42,86	(-) 70,00	(+) 200,00	(-) 60,87

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 45: Variação no comportamento de uso e ocupação do solo na Rua Córrego do Leôncio em Recife, ao longo dos anos.

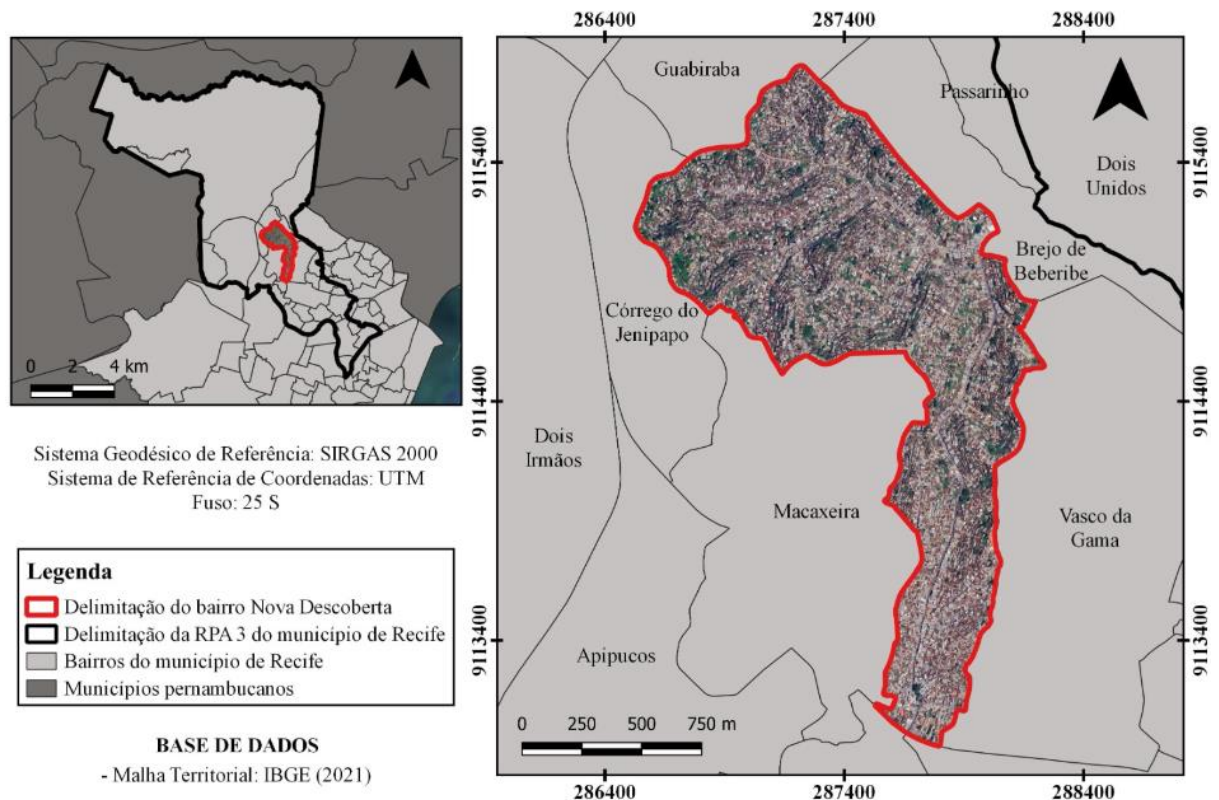


Fonte: Elaborado pela autora.

5.2 Análise AHP

Por meio da utilização do SIG foi possível estabelecer os mapas que representam o comportamento da RPA 3 (Figura 46), quanto aos parâmetros de suscetibilidade a deslizamentos de encostas elencados neste estudo, como apresenta a Figura 47. São eles: geologia (A), geomorfologia (B), pedologia (C), cobertura e uso da terra (D), declividade (E) e pluviosidade (F).

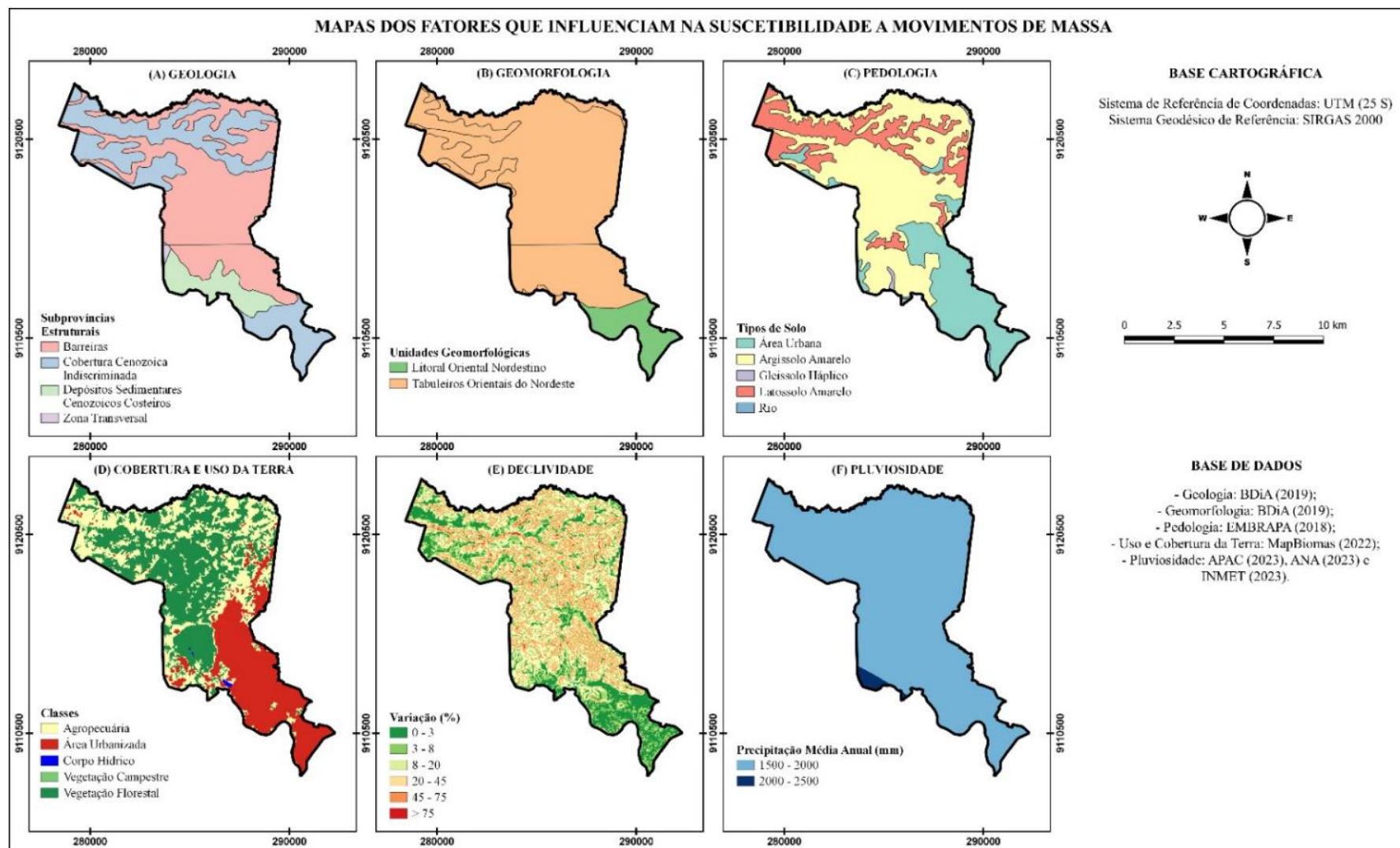
Figura 46: Mapa de delimitação da RPA 3 e delimitação do Bairro de Nova Descoberta.



Fonte: Elaborado pela autora.

Analisando a Figura 47 constata-se que quanto à geologia (A), as subprovíncias estruturais referentes às coberturas Cenozóicas predominam o território estudado; as subprovíncias Pernambuco-Alagoas e Zona Transversal, que favorecem a suscetibilidade a movimentos de massa, localizam-se na porção norte da região; e as relativas a Barreiras, Corpos d'água continental e Depósitos Sedimentares Cenozóicos Costeiros aparecem em pequenas quantidades (ALHEIROS; FERREIRA; LIMA FILHO, 1995; PESSOA NETO, 2023).

Figura 47: Representação dos fatores que influenciam na suscetibilidade a deslizamentos elencados para este estudo.



Fonte: Elaborado pela autora.

A geologia representa um fator considerável no tocante à abordagem de movimentos de massa, pois as unidades geológicas apresentam níveis variados de resistência, permeabilidade e propensão à falha (DOS SANTOS; COUTINHO, 2023; MEENA; MIRSHRA; PIRALILOU; 2019; SANTOS; SILVA; VITAL, 2023).

Em relação à geomorfologia (B), a região compreende duas unidades de relevo: o Litoral Oriental Nordestino, que abrange as planícies costeiras, e os Tabuleiros Orientais do Nordeste, localizados na parte oeste da região, constituído por formas tabulares e com cotas altimétricas mínima e máxima de 30 e 130 metros, respectivamente (PESSOA NETO, 2023).

As áreas com cotas altimétricas mais elevadas, geralmente, apresentam maiores propensões ao processo de movimentos de massa, o que sugere que terrenos mais elevados podem estar mais suscetíveis a deslizamentos de terra, erosão ou outros movimentos de massa. Isso pode ser devido a fatores como a inclinação do terreno, tipos de solo, e outros elementos geológicos (PESSOA NETO, 2023; VOJTEK; VOJTEKOVÁ, 2020; XAVIER *et al.*, 2019). Essas informações são relevantes para a compreensão da geomorfologia da região e podem ter implicações para o planejamento urbano, gestão ambiental e prevenção de desastres naturais.

Quanto à pedologia (C), as áreas de colinas e tabuleiros apresentam solos dos tipos Argissolos Amarelos ou Vermelhos e Latossolos Amarelos. No geral, esses dois tipos de solos apresentam uma coesão natural forte quando encontrados secos, mas esse estágio é revertido quando se encontram úmidos/saturado (FREIRE *et al.*, 2022; GUSMÃO FILHO, 1995).

Já os solos mais arenosos, o Latossolo Amarelo e o Neossolo Flúvico, são identificados a noroeste e norte, respectivamente. Os solos argilosos apresentam maior suscetibilidade a movimentos de massa, devido a sua alta capacidade de absorção de água. Esse processo aumenta o peso da camada do solo e contribui com a ruptura das encostas (ASLAM *et al.*, 2022; SANTOS, 2023).

Em relação à cobertura e uso da terra (D), a região urbanizada é predominante principalmente em áreas de morro, que favorecem aos movimentos de massa. Já a formação florestal, que representa a classe que menos condiciona ao processo de movimentos de massa, abrange, sobretudo, a porção central da RPA 3. A conversão de áreas vegetadas em áreas impermeáveis acelera o processo de movimentos de massa, pois a vegetação é responsável

pela estabilização das encostas, uma vez que o sistema radicular tem a função de preencher os vazios do solo, retardando o processo de infiltração das águas pluviais (ALMEIDA, 2021; SANTOS, 2023).

Sobre a topografia, as diversas classes de declividade (E) são distribuídas no território de modo que as regiões são preenchidas, sobretudo, pelas áreas urbanizadas. Quanto maior a declividade da região, maior será sua instabilidade, o que potencializa os movimentos de massa (MEIRELLES; DOURADO; COSTA, 2018; XAVIER *et al.*, 2019).

Sobre a variabilidade da precipitação média anual, os maiores índices pluviométricos (F) verificados (1500 a 2.000 mm) estão presentes em toda região. A precipitação é o principal elemento do ciclo hidrológico para suscetibilidade a deslizamentos. Eventos extremos de precipitação resultam na saturação do solo e, conseqüentemente, no processo de movimento de massa, pois, nessas condições, as encostas apresentam dificuldade em absorver a água em excesso (PESSOA NETO, 2023).

A partir dos mapas gerados foi possível realizar a Matriz de Comparação Pareada desenvolvida para o estudo do mapeamento foi construída de acordo com o que se apresenta na Tabela 16. Analisando a referida matriz, foi constatado que, de acordo com os valores dos pesos, o indicador referente a declividade foi definido como o mais importante e a pedologia como o menos importante.

Tabela 16: Vetor de pesos associado à Matriz de Comparação Pareada dos parâmetros que influenciam na suscetibilidade a inundações e alagamentos elencados para este estudo.

Parâmetro	A	B	C	D	E	F	Peso
Geologia (A)	1	2	3	1/5	1/7	1/5	0,076
Geomorfologia (B)	1/2	1	2	1/3	1/3	1/5	0,067
Pedologia (C)	1/3	1/2	1	1/5	1/3	1/5	0,049
Cobertura e uso de terra (D)	5	3	5	1	1/3	1/5	0,168
Declividade (E)	7	3	3	3	1	7	0,380
Pluviosidade (F)	5	5	5	5	1/7	1	0,261

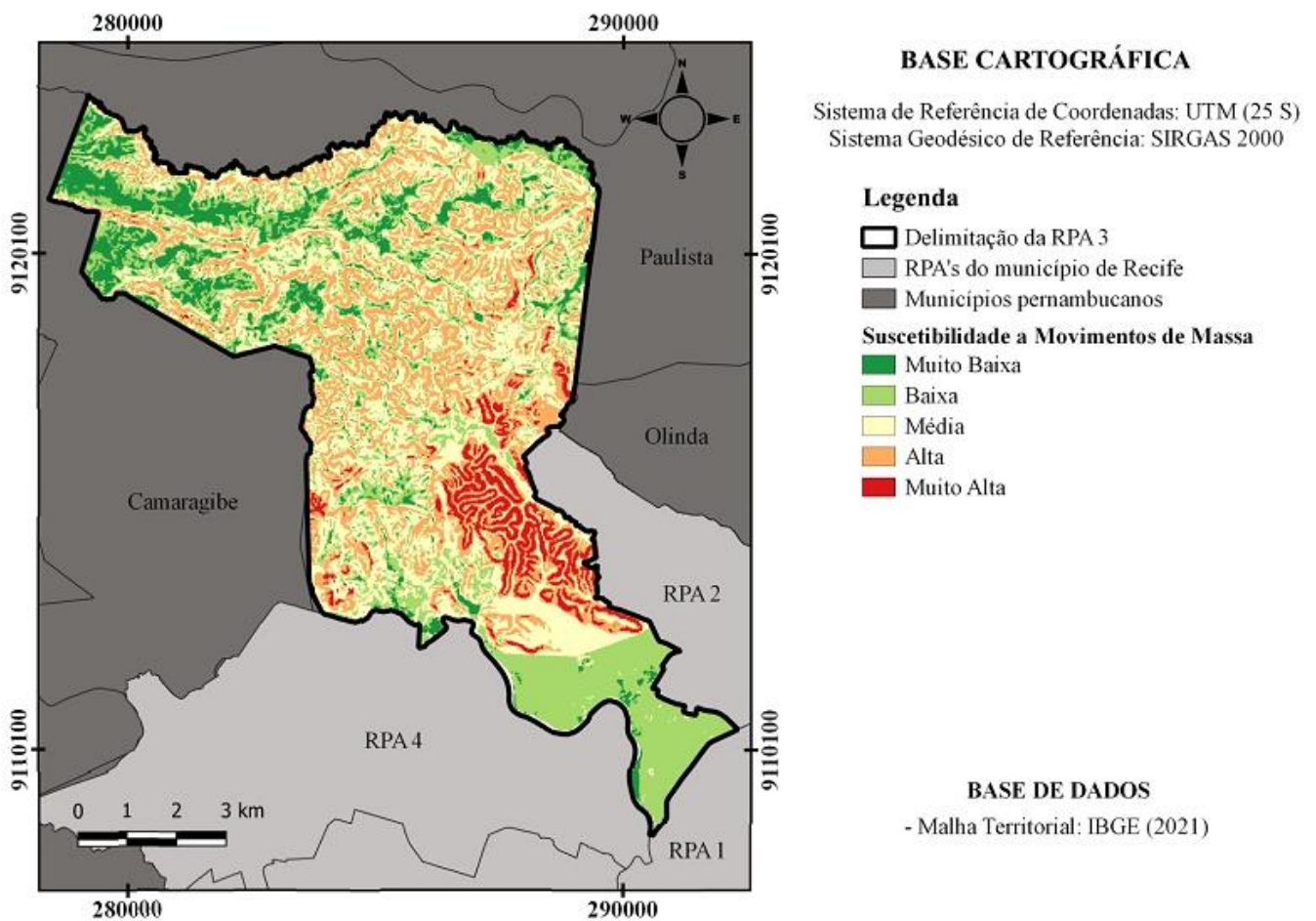
Fonte: Elaborado pela autora.

Após a obtenção dos valores ponderados na Matriz de Comparação Pareada e do cálculo dos pesos para cada parâmetro, foi preciso verificar a consistência desses resultados. Nessa análise, foi obtido um IC igual 0,054 e uma RC igual a 5,47%. Pelo valor da RC será baixo de

10%, as comparações realizadas foram coerentes e produziram resultados confiáveis, conforme Saaty (1987).

Por fim, foi possível elaborar o modelo matemático para a produção do mapa de suscetibilidade à deslizamentos na RPA 3 do município de Recife, que se apresenta a seguir: $M = 0,076 * G + 0,067 * G + 0,049 * P + 0,168 * C + 0,380 * D + 0,261 * P$, o qual foi submetido à álgebra de mapas no ambiente SIG, onde foi gerado o mapa representado pela Figura 48.

Figura 48: Mapa de suscetibilidade à deslizamentos de encostas na RPA 3 no município de Recife.



Fonte: Elaborado pela autora.

Ainda com auxílio do SIG, foi possível classificar, em termos percentuais, a proporção das áreas suscetíveis a deslizamentos na RPA 3, o que pode ser verificado na Tabela 17.

Tabela 17: Proporção das áreas suscetíveis a deslizamentos de encostas na RPA 3 no município de Recife.

Suscetibilidade	Área (km ²)	Taxa Percentual (%)
Muito Baixa	8,00	10,48
Baixa	18,65	24,42
Média	26,65	34,31
Alta	19,50	25,53
Muito Alta	4,02	5,26

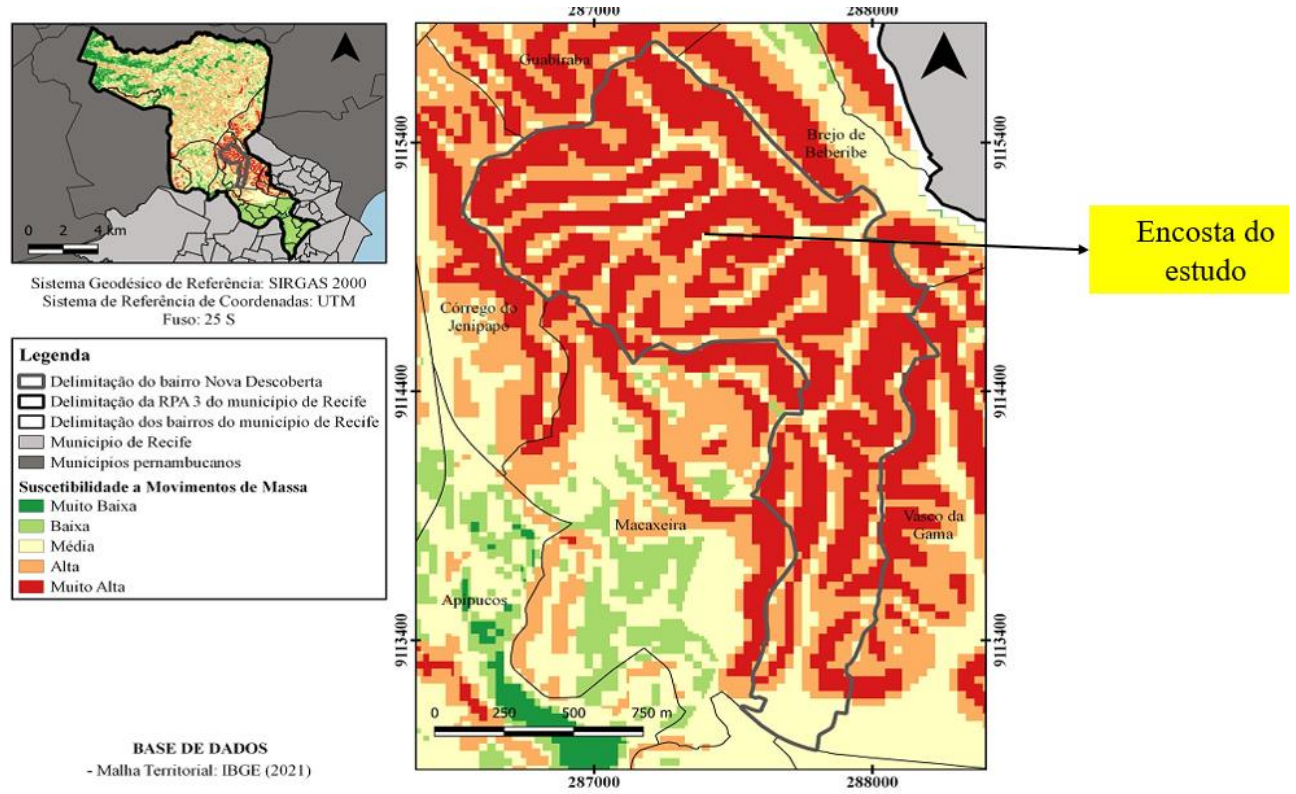
Fonte: Elaborado pela autora.

Analisando a região mapeada, pode ser observado que as áreas mais suscetíveis, ou seja, as de média a muito alta propensão a deslizamentos configuram parte significativa da RPA 3, sendo dominantes na região noroeste do município de Recife, somando uma área de 50,17 km², que representa 61,10% da região de estudo. Também foi verificado que as áreas menos suscetíveis a deslizamentos representam 34,90% da área total da área mapeada e estão localizadas próximos a corpos hídricos.

Conforme às constatações apresentadas, foi realizado um levantamento de registros fotográficos sobre deslizamentos que ocorreram no bairro de Nova Descoberta por meio da Defesa Civil e visitas in loco, no período de 2022 e 2023, os quais representam episódios de deslizamentos, conforme o mapeamento realizado neste estudo.

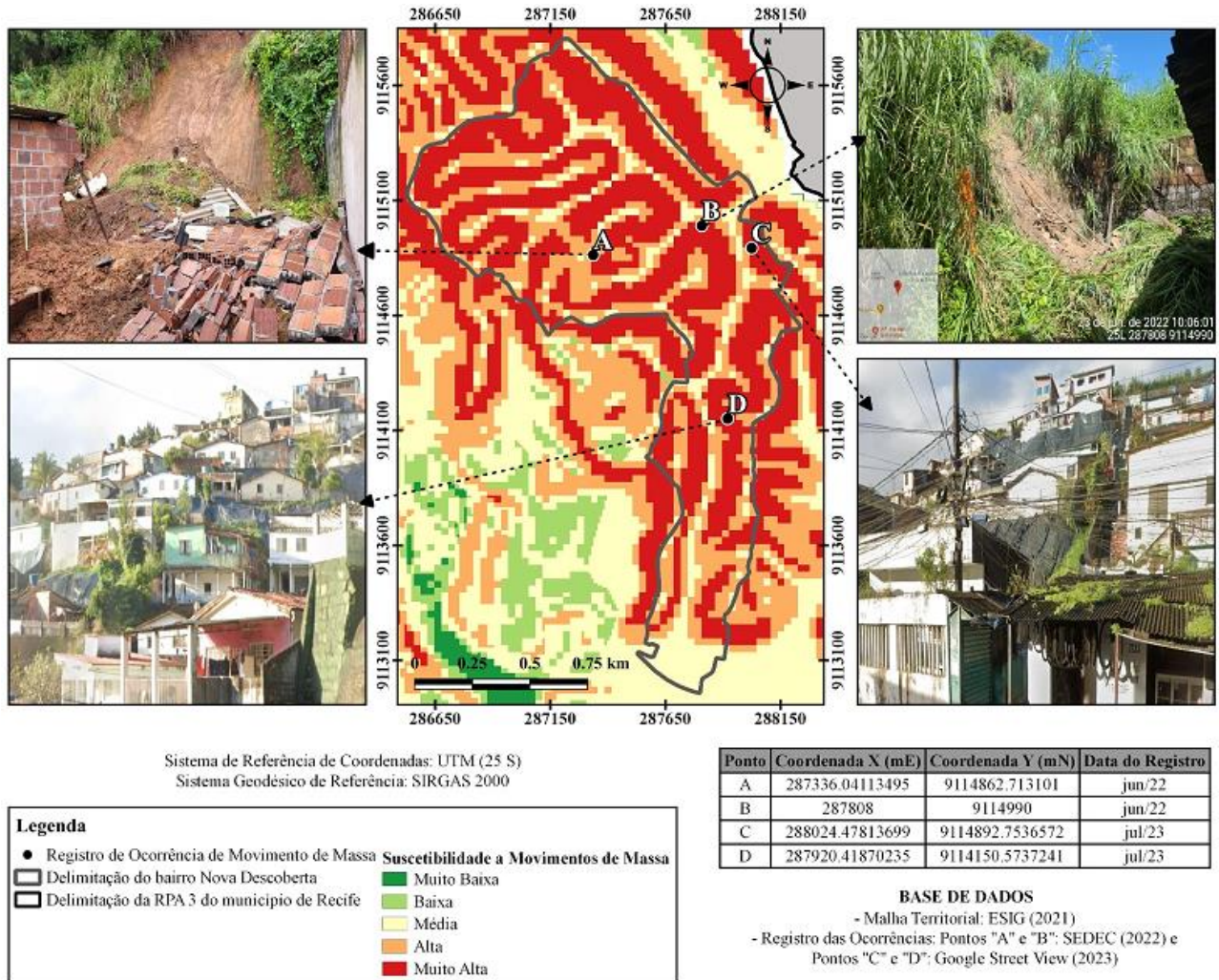
A Figura 49 apresenta o bairro de Nova Descoberta como uma das áreas da RPA 3 mais propícias a deslizamento de encostas e a Figura 50 representa alguns episódios de deslizamentos no bairro supracitado.

Figura 49: Mapa de suscetibilidade a deslizamentos de encostas no bairro de Nova Descoberta -Recife/PE.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 50: Registros fotográficos de ocorrências de deslizamentos de encostas no Bairro de Nova Descoberta.



Fonte: Elaborado pela autora.

Todas essas verificações corroboram a eficácia da AHP, demonstrando o nível de precisão desse método, podendo representar um diferencial na tomada de decisões de órgãos gerenciadores.

5.3 Análise do Modelo GTP

Feita essa contextualização, a presente pesquisa enfocou a utilização do geossistema, território e paisagem dentro do sistema GTP, através da análise temporal e AHP. Foi possível identificar que a construção teórico-metodológica do sistema GTP tem presença significativa na produção de pesquisas brasileiras (VOLTI, 2023).

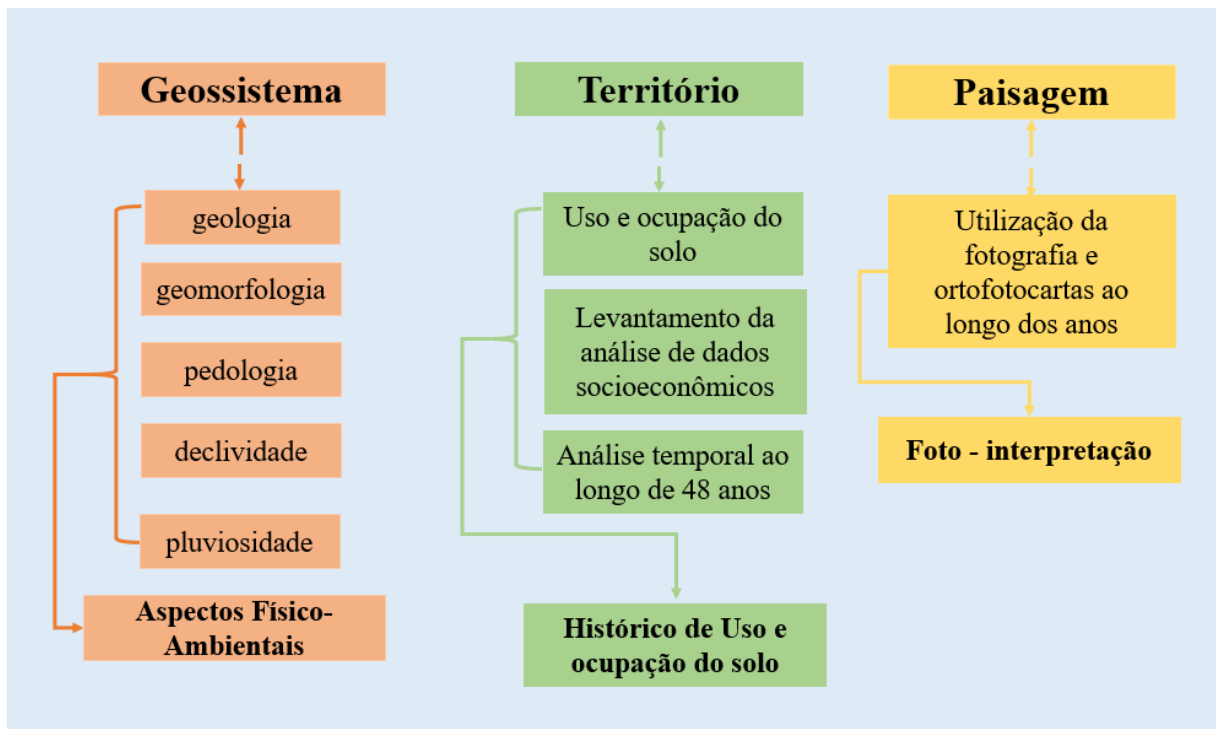
Foram analisados 20 artigos onde, 15 têm caráter predominantemente aplicado, e 5 predominantemente teórico. Os temas podem ser divididos em: análise sistêmica do espaço,

teoria e metodologias, risco ambiental, análise geográfica, planejamento territorial e ambiental.

Notavelmente predominam os trabalhos que se propõe a um recorte de área, aplicando a metodologia GTP para a descrição e análise de elementos ambientais, levando em conta os elementos naturais e sociais (DOS PASSOS, 2021; OLIVEIRA; BONFIM SOUZA; DE OLIVEIRA ARAÚJO, 2022; VOLPI, 2023). Os tipos de recortes de área podem ser classificados de acordo com seu critério predominante de escolha, a partir da análise AHP.

Pode-se fazer uma análise a partir dos fluxogramas metodológicos empregados nessas pesquisas, conforme Figura 51.

Figura 51: Fluxograma metodológico modelo GTP adotado na pesquisa.



Fonte: Elaborado pela autora. Adaptado de Bertrand, G e Bertrand, C (2002).

Pode-se observar que a entrada geossistêmica foi feita a partir da análise dos mapas geológicos, geomorfológicos, pedológicos, declividade, pluviosidade além de mapas de vegetação, município e região. A entrada territorial foi feita principalmente com mapas do histórico de uso e ocupação de solo ao longo de 48 anos, análise de dados socioeconômicos. A entrada paisagística, por sua vez, foi obtida por meio da análise ortofotocartas e imagens na área de estudo.

Na utilização do sistema GTP e seus três campos semânticos, ocorre uma necessidade de domínio de ferramentas que vão desde a cartografia de mosaico, formação territorial, entrevistas, entre outras. Os trabalhos em geral apresentam domínio aprofundado de apenas algumas dessas ferramentas (BERTRAND, G; BERTRAND, C, 2007). Ficando evidente a dificuldade de escopo de trabalho para atender às demandas teórico metodológicas, bem como às aplicações práticas necessárias para desenvolver cada uma das metodologias (DOS PASSOS, 2021; OLIVEIRA; BONFIM SOUZA; DE OLIVEIRA ARAÚJO, 2022; VOLPI, 2023).

Nota-se, em especial, dificuldade para revelar os aspectos dinâmicos do ambiente, prevalecendo uma imagem estática das áreas de estudo. Pelo lado do geossistema, a análise ambiental se faz predominantemente utilizando álgebra de mapas, chegando ao resultado do mapa de suscetibilidade da região, bem como, dos indicadores referentes a declividade foi definido como o mais importante e a pedologia como o menos importante. Corroborando, ao resultado do mapa de suscetibilidade da região.

Pelo lado territorial, utiliza-se predominantemente o histórico de uso e ocupação de solo ao longo de 48 anos. Verificando, que o aumento da ocupação populacional da área, assim como, a notória redução da vegetação original, no recorte temporal, constatando-se que o crescimento desordenado da zona urbana, associado ao descaso do poder público resultaram em déficits de áreas verdes na cidade de Recife, podendo ser estes os principais fatores que influenciam na instabilidade da encosta

Pelo lado da paisagem, a entrada cultural, prevalece a utilização de ortofotocartas, utilizadas na análise temporal e fotografias da região de estudo e todo os seus processos de mudanças ao decorrer do tempo.

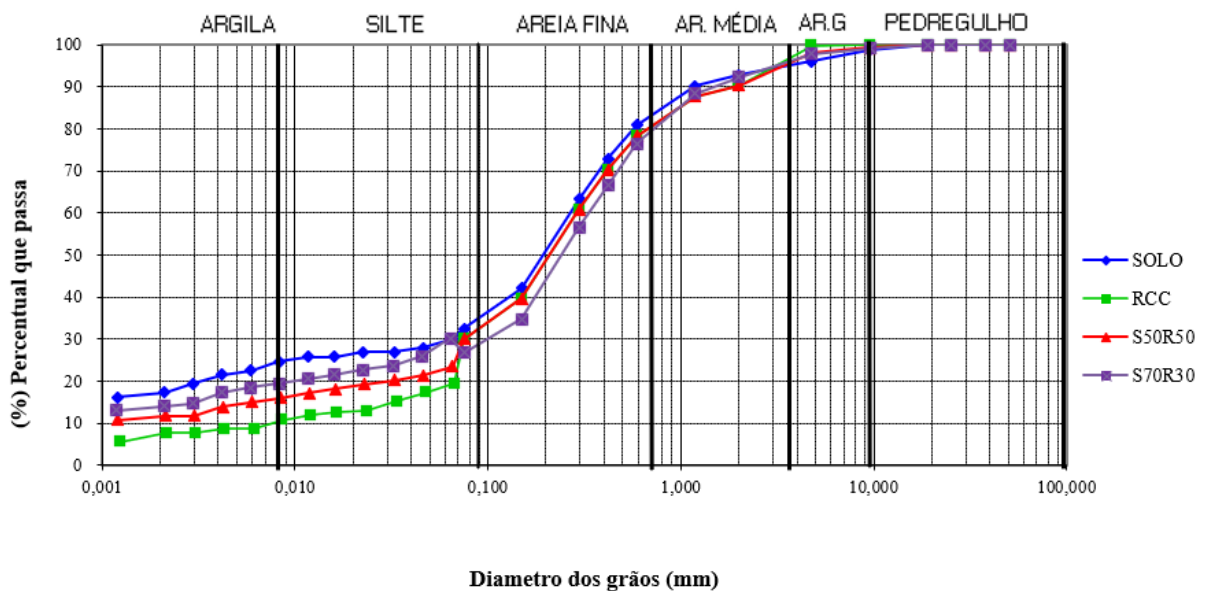
Por fim, o mapeamento de suscetibilidade indicado no item 5.2, fornece uma base sólida para a implementação de práticas eficazes de prevenção, proteção e mitigação em áreas propensas a movimentos de massa. A integração dessas informações, junto ao modelo GTP nos processos de planejamento e gestão do território é crucial para garantir o desenvolvimento sustentável e a segurança das comunidades. Ressalta-se que processos de movimentos de massa na área de estudo podem ser minimizados por ações que visem a conservação das condições naturais do meio.

5.4 Caracterização Física

5.4.1 Análise Granulométrica

As curvas granulométricas das amostras de solo, RCC, e dos compósitos (S70R30, S50R50) estão apresentadas na Figura 52. Na Tabela 18, é possível verificar os percentuais para cada fração, a relação silte/argila e os coeficientes para os materiais e compósitos analisados.

Figura 52: Curva Granulométrica dos compósitos de solo, RCC, S50R50 e S70R30.



Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 18: Composição granulométrica.

Amostras	Frações do solo (%)						Relação Silte/argila
	Argila	Silte	Areia Fina	Areia Média	Areia Grossa	Pedregulho	
Solo	23	7	43	20	4	3	0,30
RCC	10	9	51	20	10	0	0,90
S50R50	15	8	47	20	10	0	0,53
S70R30	19	11	27	27	5	2	0,58

Fonte: Elaborado pela autora.

O solo apresentou fração predominante de areia, apresentando um valor de 67%, seguido pelos percentuais de argila, silte e pedregulho, com 23%, 7% e 3% respectivamente, onde as características foram bem semelhantes às encontradas nas análises de Santos (2023),

Fontoura, Coutinho e da Silva (2023) dos Santos e Coutinho (2023), Freire *et al.* (2022), Santos (2022).

O material formado pelo compósito S50R50 apresentou fração predominante de areia (77%), seguido pelos teores de 15% de argila e 8% de silte. A mistura formada pelo compósito S70R30, mostrou teor predominante de areia no valor de 59%, teor de argila de 15%, teor de silte de 11% e teor de pedregulho de 2%.

O resíduo utilizado apresentou teor predominantemente arenoso (81%), seguido pelos teores de 10% de argila e 9% de silte. Com os resultados mostrados, é possível identificar que o acréscimo no teor de agregado reciclado nas misturas, aumentou o teor de areia e reduziu a fração argilosa dos materiais. O percentual de pedregulho diminuiu com o acréscimo de resíduo.

A relação silte/argila para o solo foi de 0,30, indicando maior intemperismo para o solo, já que, segundo Santos e Zaroni (2019), quanto menor a relação silte/argila, maior será o grau de intemperismo sofrido pelo solo, mostrando uma maior suscetibilidade a processos erosivos. Essa relação é menor ao adicionar o resíduo nas misturas.

O coeficiente de uniformidade (Cu) e o coeficiente de curvatura (Cc) não foram encontrados para o solo, nem para as misturas formadas por solo e agregado reciclado, já que não foi possível a identificação do diâmetro efetivo do solo, que corresponde ao diâmetro na peneira para o qual 10% das partículas da amostra passariam, conforme a NBR 6502 (ABNT, 1995).

Apenas o RCC apresentou coeficiente de uniformidade no valor de $Cu = 30$. Para o coeficiente de curvatura, o RCC apresentou o valor de $Cc = 1,28$, que resulta na graduação da amostra com base nos diâmetros D30, D60 e D10, indicando que o material é bem graduado. Valores maiores do que 3 indicam um solo mal graduado.

A Tabela 19 apresenta a classificação dos materiais e compósitos de acordo com o Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS). Através do SUCS foi possível classificar o solo como SC, areia argilosa, devido a presença de mais de 50% de material passante na peneira nº 200 e limite de liquidez abaixo de 50.

As misturas de solo e agregado reciclado (S70R30 e S50R50) apresentaram classificação pelo SUCS, como uma areia siltosa -areia argilosa – (SM-SC), enquanto o agregado reciclado foi classificado como uma areia siltosa – SM. Os resultados foram semelhantes aos obtidos por Santos (2023), Pedrosa (2021), Almeida (2021), Santos (2020).

Tabela 19: Classificação dos materiais e compósitos segundo a SUCS.

AMOSTRA	CLASSIFICAÇÃO SUCS
S100	SC- Areia argilosa
R100	SM- Areia siltosa
S70R30	SM- SC (Areia siltosa - Areia argilosa)
S50R50	SM- Areia siltosa

Fonte: Elaborado pela autora.

5.4.2 Limites de Atterberg

Os resultados encontrados para os ensaios de Limite de Liquidez (LL), Limite de Plasticidade (LP) e o Índice de Plasticidade estão apresentados na Tabela 20. O solo (S100), apresenta percentuais dos limites e índice de plasticidade, sendo classificado como medianamente plástico. É possível observar que a amostra do RCC (R100) não possui limites de liquidez e plasticidade e se comportam como materiais não plásticos.

Tabela 20: Limites de *Atterberg*

Amostras	LL (%)	LP (%)	IP (%)	CLASSIFICAÇÃO
S100	26,01	16,76	9,26	Medianamente Plástico
R100	NL	NP	-	Não Plástico
S50R50	24,17	16,37	7,8	Medianamente Plástico
S70R30	25,15	15,72	9,43	Medianamente Plástico

Fonte: Elaborado pela autora.

Para os compósitos das misturas (S50R50) e o (S70R30) os materiais apresentam um comportamento medianamente plástico.

5.5 Análise Mineralógica

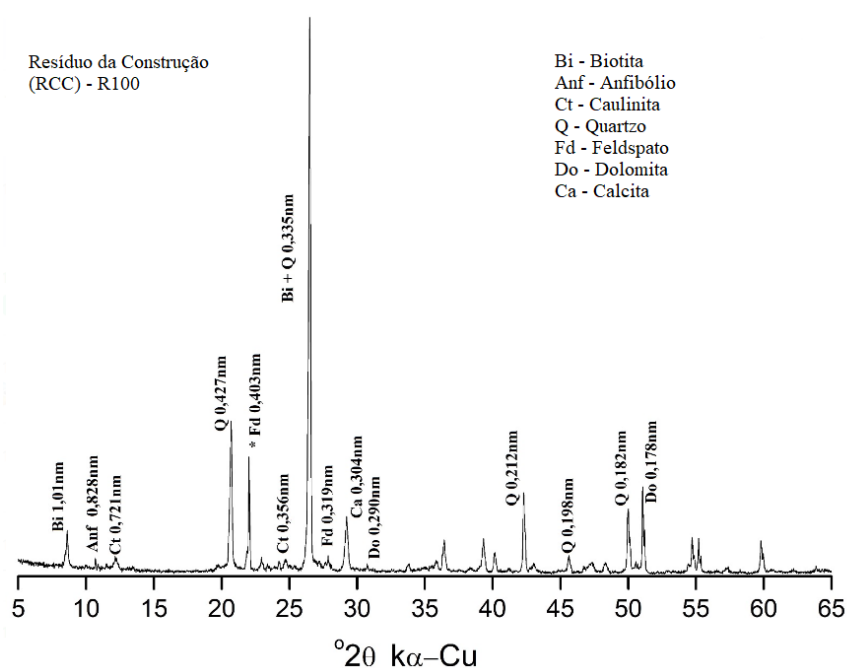
A composição mineralógica da amostra foi determinada pelo ensaio de difratometria de raio-X, onde foram analisadas amostras de RCC e solo, que foram maceradas na forma de pó, passado em peneira de 100 mm. O difratômetro Shimadzu XRD6000, operando com radiação de Cu α , em velocidade de $1^\circ 2\theta \text{ min}^{-1}$, registrado numa amplitude de varredura de 5° a 70° (2θ).

Os critérios empregados para interpretação dos difratogramas e identificação dos minerais constituintes da amostra foram baseados nos picos de difração referentes ao reflexo do

espaçamento interplanar ($d = \text{nm}$), conforme apresentado por Brown & Brindley (1980) e Moore & Reynolds (1989).

A Figura 53, apresenta o resultado do ensaio para a amostra de RCC, a biotita foi identificada pela presença do pico de difração em 1,01nm e ausência do pico em 0,50nm. Anfibólio foi identificado pelo pico em 0,828; caulinita foi identificada pelos picos 0,721 e 0,356nm. Feldspatos foram identificados pelos picos em 0,403 e 0,319nm. A calcita foi identificada em 0,304nm e a dolomita foi identificada pelos picos em 0,290 e 0,178nm.

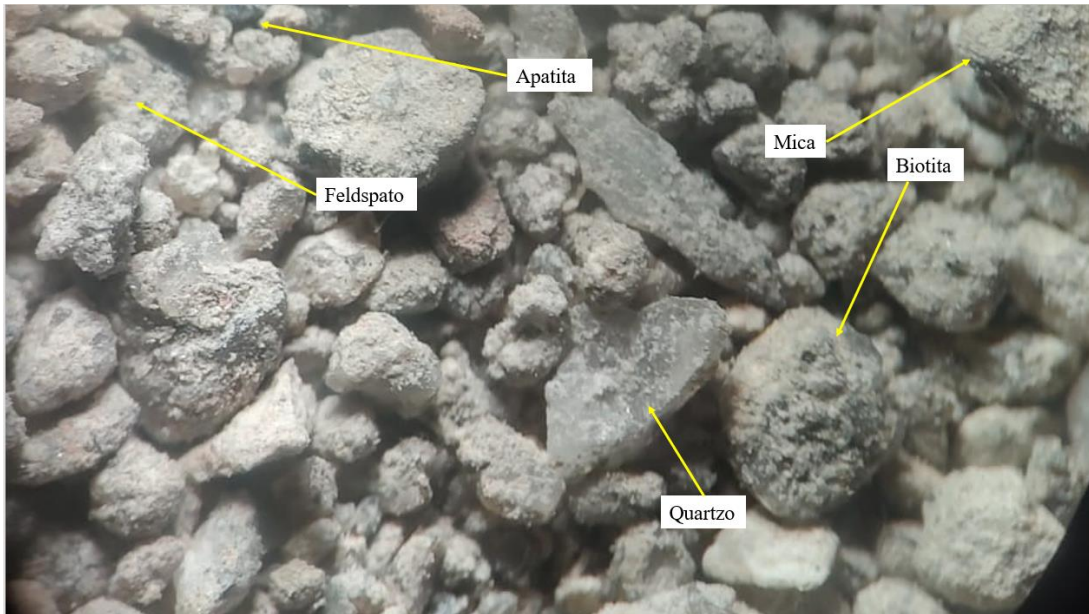
Figura 53: Difratometria de raio-x da amostra de RCC.



Fonte: Elaborado pela autora.

A presença de biotita, anfibólios, quartzo e feldspatos na amostra de RCC (Figura 54), provavelmente está relacionada a composição da brita que usada na concretagem, e, ou areia para a argamassa, neste último caso explica bem a presença de quartzo, corroborando para as análises feitas através da lupa binocular. Caulinita tem sua origem, provavelmente, pela argila da argamassa, que normalmente é extraída de área de empréstimo das ocorrências da Formação Barreiras (NASCIMENTO, 2019; SANTOS, 2023; SOUZA; RUDNICK; LUKIANTCHUKI, 2020).

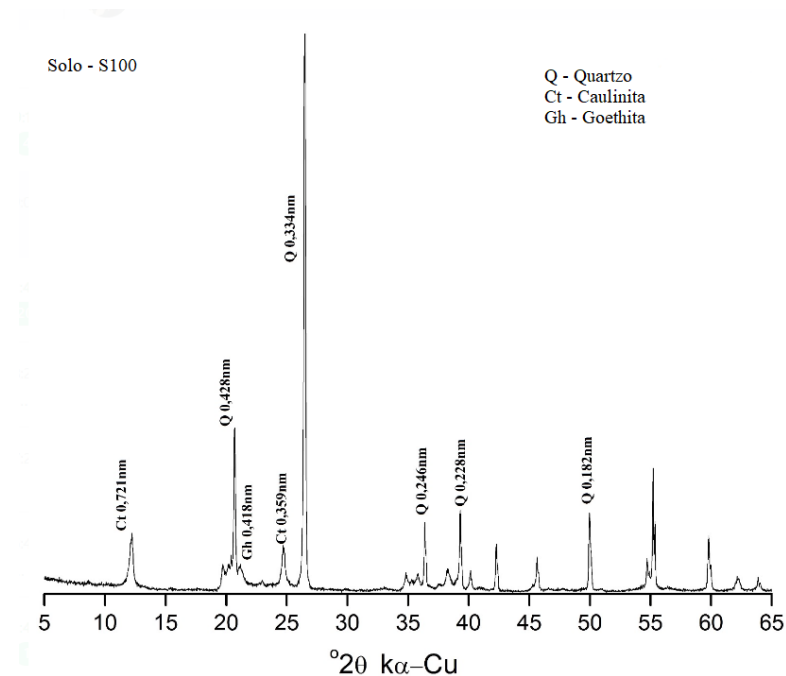
Figura 54: Amostra de RCC analisada através da lupa binocular.



Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 55, apresenta os resultados obtidos através do ensaio de Difratoimetria de raio-x da amostra de solo.

Figura 55: Difratoimetria de raio-x da amostra de solo.



Fonte: Elaborado pela autora.

A composição mineralógica da amostra de solo é bem condizente com a constituição dos sedimentos da Formação Barreiras (DOS SANTOS; COUTINHO, 2023; FONTOURA;

COUTINHO; DA SILVA, 2023; FREIRE *et al.*, 2022; SANTOS *et al.*, 2023). Esta Formação é parte integrante da paisagem mais elevada ao longo de grande trecho da Região Metropolitana do Recife. A Formação Barreiras, por essa região, é formada essencialmente por caulinita, quartzo, feldspato e mica (Figura 56), que corresponde aos resultados obtidos na amostra analisada através da lupa binocular.

Figura 56: Amostra de solo analisada através da lupa binocular.



Fonte: Elaborado pela autora.

5.6 Análise Química

5.6.1 Fluorescência de Raio – X

Quanto aos resultados obtidos através do ensaio de fluorescência de raio -X, verifica-se que os materiais e os compósitos de solo e RCC apresentam a predominância da sílica (SiO_2) com 47,66% e 44,97% respectivamente. Os resultados das amostras estão identificados na Tabela 21.

Tabela 21: Resultado da análise das amostras de Solo e RCC a partir do ensaio de fluorescência de Raio – X.

Solo	MgO	Al₂O₃	SiO₂	P₂O₅	SO₃	CL	K₂O	CaO	TiO₂	Cr₂O₃	Fe₂O₃T
	0,15	28,15	47,66	0,76	0,15	0,02	0,31	0,47	0,91	0,03	7,55
	MnO	CuO	ZnO	Ga₂O₃	SeO₂	Rb₂O	SrO	ZrO₂	BaO	P.F	
	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	-	0,03	0,2	0,08	13,47	
RCC	MgO	Al₂O₃	SiO₂	P₂O₅	SO₃	CL	K₂O	CaO	TiO₂	Cr₂O₃	MnO
	0,96	14,75	44,97	0,83	1,4	0,04	2,23	15,16	0,84	0,02	0,06
	Fe₂O₃T	CuO	ZnO	Ga₂O₃	SeO₂	Rb₂O	SrO	ZrO₂	BaO	P.F	
	4,44	0,01	0,02	-	N.D.	0,01	0,05	0,14	0,13	13,91	

Fonte: Elaborado pela autora.

Os resultados obtidos na análise, corroboram com os obtidos por Santos (2023), Fontoura, Coutinho e da Silva (2023) e Freire *et al.* (2022), onde o solo é predominantemente constituído por SiO₂ (47,66%), Al₂O₃ (28,15%) e Fe₂O₃ (7,55%), resultados estes compatíveis aos encontrados nos ensaios de mineralogia, tendo em vista que o material é basicamente constituído por quartzo.

Fontoura, Coutinho e da Silva (2023) afirmam que, os níveis de óxido de ferro encontrados nas análises químicas dos solos estão ligados aos processos de intemperismo tropical (laterização). Características semelhantes aos encontrados em solos provenientes aos da Formação Barreiras.

O elemento silício (Si) desempenha um papel fundamental no processo de intemperismo e na formação de rochas e sedimentos e está presente em diferentes minerais silicatados, como o quartzo, feldspatos, micas e argilas (DOS SANTOS; COUTINHO, 2023; FONTOURA; COUTINHO; DA SILVA, 2023; PEDROSA, 202; SANTOS, 2023).

O RCC é composto principalmente por SiO₂ (44,97%), CaO (15,2%) e Al₂O₃ (14,75%), consolidando com os resultados obtidos por Santos (2023), Santos (2021), Almeida (2021), Portela *et al.* (2021), Nascimento (2019).

5.6.2 Teores de Sais

Ao analisar o pH dos materiais (Tabela 22) em água destilada, foi observada uma variação entre 6,5 e 8,5, enquanto o pH em solução com KCl ficou entre 6,0 e 8,6. Desta maneira, o solo apresenta um pH ligeiramente ácido, enquanto o RCC tem um pH considerado alcalino.

Tabela 22: Valores de

Amostra	pH em KCL	pH em água	Δ pH	Classificação
S100	6	6,5	(-) 0,5	Ligeiramente ácido
R100	8,6	8,5	(+) 0,1	Fortemente alcalino

pH em água e em KCL dos materiais e compósitos.

Fonte: Elaborado pela autora.

A variação negativa na diferença dos pH (Δ pH), apontam a presença de alumínio trocável e presença de sílica, argila e predominância de cargas negativas na superfície coloidal nos materiais (FONTOURA; COUTINHO; SILVA, 2023; OLIVEIRA *et al.*, 2023; SANTOS, 2023). Corroborando com os resultados encontrados no teste de DRX, revelando a presença de argilominerais ricos em sílica e alumínio, como illita e caulinita.

Amostras que apresentam pH ácido possuem um alto teor de óxido de sílica (ANUMATA *et al.*, 2021), também é importante mencionar que que solos da região semiárida com pH neutro tende a apresentar baixo intemperismo (SANTOS *et al.* 2021).

Quanto à análise de teores de sais extraídos, foram verificados os teores de cálcio, magnésio, sódio e potássio, dissolvidos na água e usados para calcular os parâmetros de análise de dispersão, cujos valores são apresentados na Tabela 23. Observa-se que o percentual de sódio trocável encontrado no solo foi de 14,34%, sendo maior do que os percentuais encontrados do RCC, pois apresentaram uma quantidade elevada de cálcio nestes materiais.

Tabela 23: Resultado das análises de teor de sais.

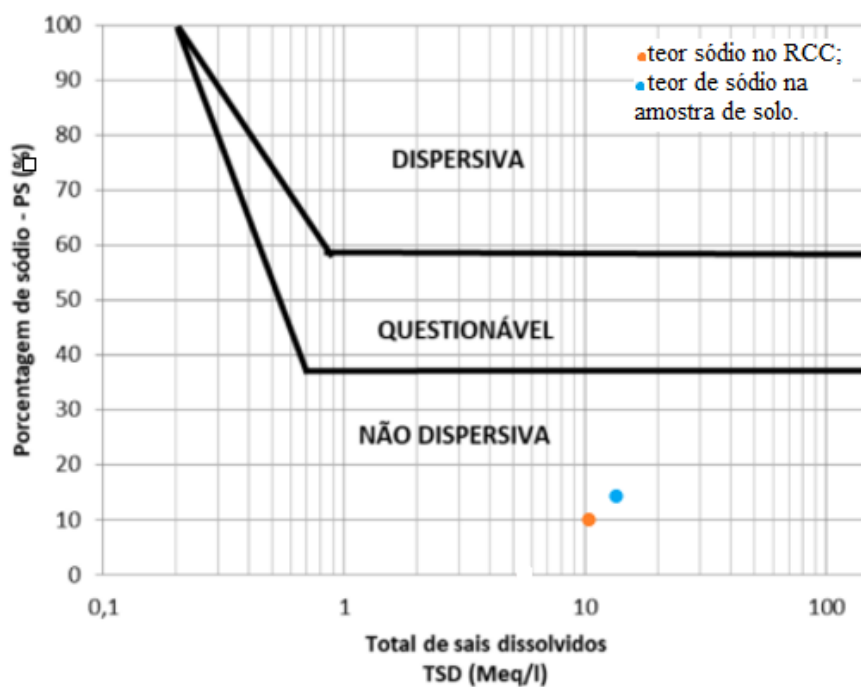
Material	Análise	mg/dm ³	cmolc/dm ³ / Meq/l	TSD	PST (%)	RAS
Solo	Cálcio	202,9	1,012	2,232	14,34	0,368
	Magnésio	61,5	0,5			
	Sódio	73,5	0,32			
	Potássio	159,1	0,4			
RCC	Cálcio	3358,8	16,76	21,44	10,10	0,71
	Magnésio	212,2	1,75			
	Sódio	497,8	2,16			
	Potássio	299,3	0,77			

Legenda :TSD = Total de sais dissolvidos; PST = Porcentagem de Sódio Trocáveis; e RAS = Sólidos Totais Dissolvidos.

Fonte: Elaborado pela autora.

A partir do método proposto por Sherard, Dunnigan e Decker (1976), verificou-se que o solo e o RCC se enquadram na classificação da zona não dispersiva, conforme Figura 57, corroborando com as análises de ensaios de Fluorescência de Raio – x.

Figura 57: Relação entre o PST e o TSD do solo e RCC.



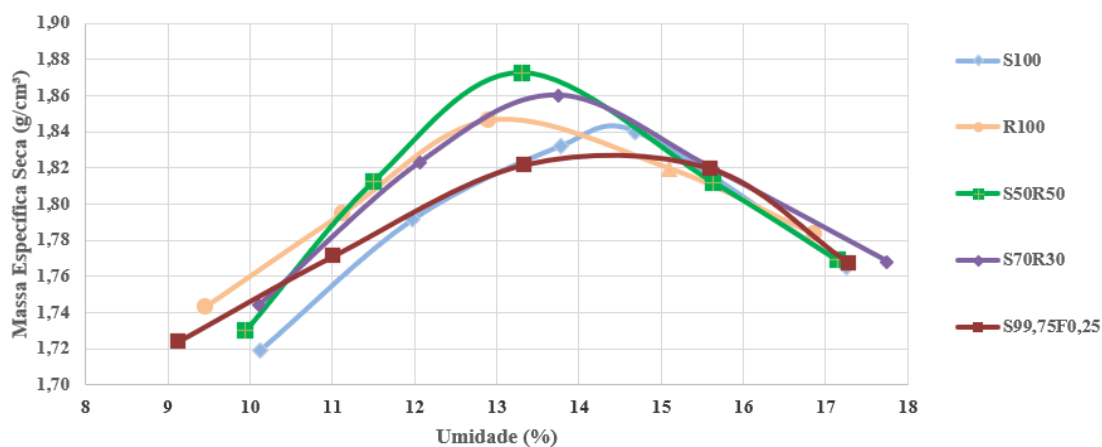
Fonte: Adaptado de Sherard, Dunnigan e Decker (1976).

5.7 Caracterização Mecânica

5.7.1 Compactação

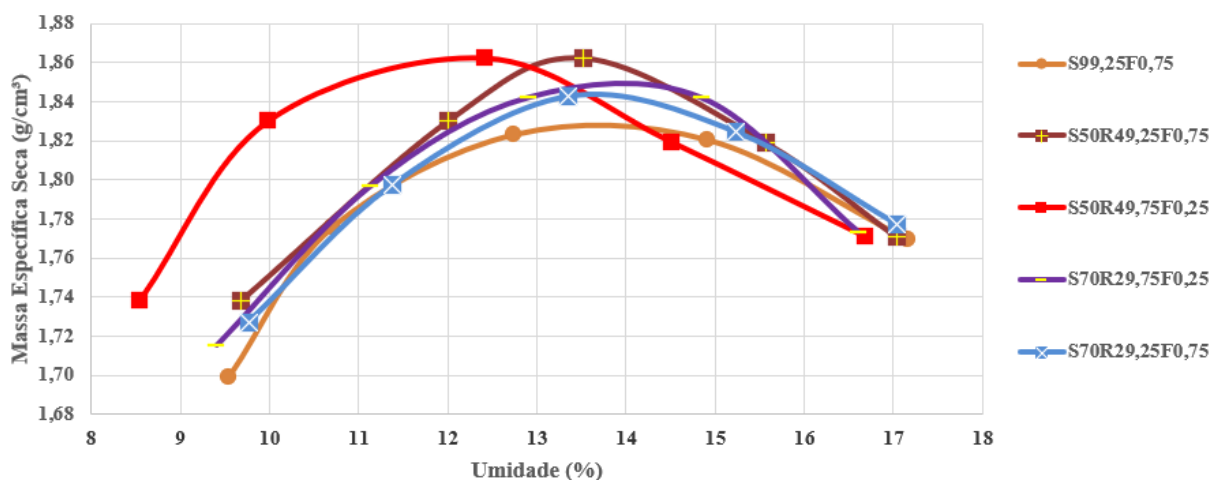
A análise das curvas de compactação do solo e RCC e compósitos estão representados na Figura 58 e Figura 59. Os valores relacionados a densidade seca máxima e teor de umidade ótima são mostrados na Tabela 24.

Figura 58: Curvas de Compactação do solo, RCC e compósitos.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 59: Curvas de Compactação do solo, RCC e compósitos.



Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 24: Umidades ótimas e massa específica seca dos materiais e compósitos.

Compósitos	Wot (%)	Varição em relação ao solo do teor de umidade ótima (Wot%)	$y_{secmáx}$ (g/cm ³)	Varição em relação ao solo da densidade seca máxima
S100	14,68	-	1,840	-
R100	12,92	-	1,846	-
S50R50	13,3	-9,40%	1,872	+1,74%
S70R30	13,74	-6,40%	1,860	+1,08%
S99,75F0,25	13,33	-9,19%	1,821	-1,03%
S99,25F0,75	12,74	-13,25%	1,823	-0,92%
S50R49,75F0,25	14,51	-1,15%	1,848	+0,43%
S50R49,25F0,75	13,53	-7,83%	1,862	+1,19%
S70R29,25F0,75	13,36	-8,99%	1,848	+0,43%
S70R29,75F0,25	14,85	+1,15%	1,842	+0,1%

Fonte: Elaborado pela autora.

Observa-se que o solo (S100), é um material de granulometria mais fina, e apresentou uma umidade ótima de 14,65% e massa específica seca de 1,840 g/cm³. O RCC apresenta massa específica seca de 1,846 g/cm³ e umidade ótima de 12,92%. Takeda (2006) analisou a relação densidade seca máxima *versus* umidade ótima, e as características físicas dos solos, e concluiu que existe uma tendência no comportamento do solo relacionado ao ensaio de compactação.

Vale ressaltar, que o RCC por ser constituído por 81% de areia, ao ser misturado ao solo, resultou em compósitos com teores de umidade menores que o teor de umidade solo. Comportamento semelhante aos encontrados nos compósitos com a substituição da parcela de RCC pelas fibras de poliéster, devido as fibras possuírem diâmetro entre 2mm e 4mm, reduzindo assim a umidade ótima.

Verifica-se que a adição do RCC e fibra interferem em ambos os resultados das análises. Pode-se observar que o compósito S50R50 apresentou melhores parâmetros de compactação, com massa específica seca máxima ($1,872 \text{ g/cm}^3$) e umidade ótima de (13,3%), quando comparado ao solo natural, onde o percentual de acréscimo foi de aproximadamente 1,74% em relação a densidade seca e a redução na umidade ótima foi de 9,4%, respectivamente.

Ao ser adicionado a fibra, o ganho de densidade não foi tão significativo. Porém, em relação a umidade ótima houve a redução do resultado em relação ao solo natural, com perdas de 9,19% (S99,75F0,25) e 13,25% (S99,25F0,75), respectivamente. Este comportamento foi semelhante aos encontrados por Santos (2023) e Pedrosa (2021), que utilizaram compósitos de RCC, solo e fibras sintéticas como alternativa de reforço do solo, para encostas com processos de erosão.

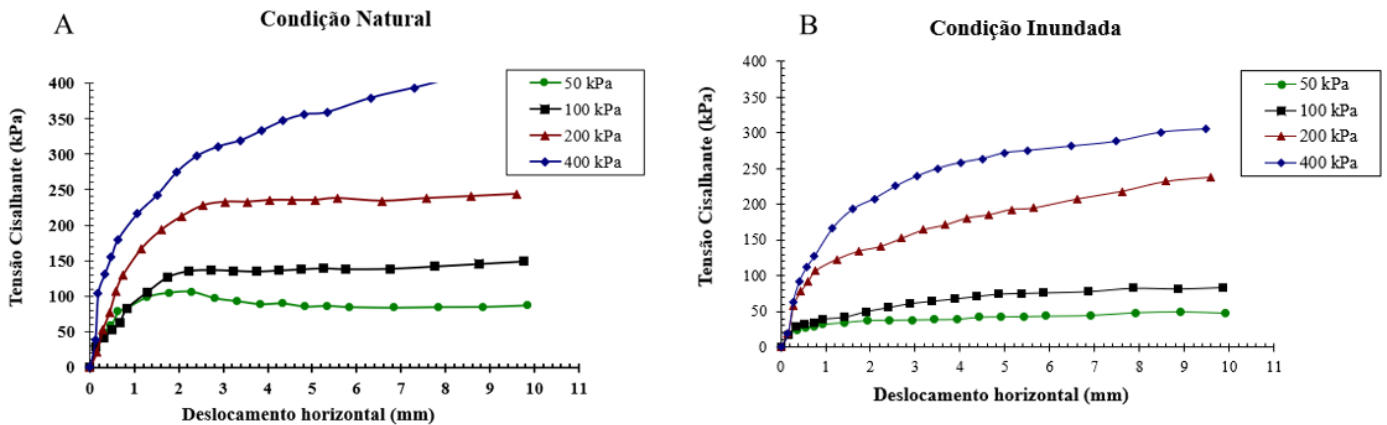
Uma análise histórica de ensaios de compactação para misturas de solo e fibras, realizada por Feuerharmel (2000), mostra similaridade no comportamento das curvas, onde ocorre um decréscimo da densidade e um acréscimo na umidade ótima.

5.7.2 Análise de resistência ao cisalhamento direto

As Figura 60 e Figura 61 apresentam as curvas de Tensão de Cisalhamento (kPa) x Deslocamento Horizontal (mm) e Deslocamento Vertical (mm) x Deslocamento Horizontal (mm), respectivamente, das amostras indeformadas do solo no estado natural e inundado. As envoltórias estão apresentadas na Figura 62.

Verifica-se no gráfico de Tensão Cisalhante (kPa) x Deslocamento Horizontal (mm) (Figura 60), que o solo apresenta tensões crescentes com o deslocamento nas duas condições, com exceção da tensão de 400 kPa no solo natural que a partir de 2mm de deslocamento apresentam tensões com valores diferentes.

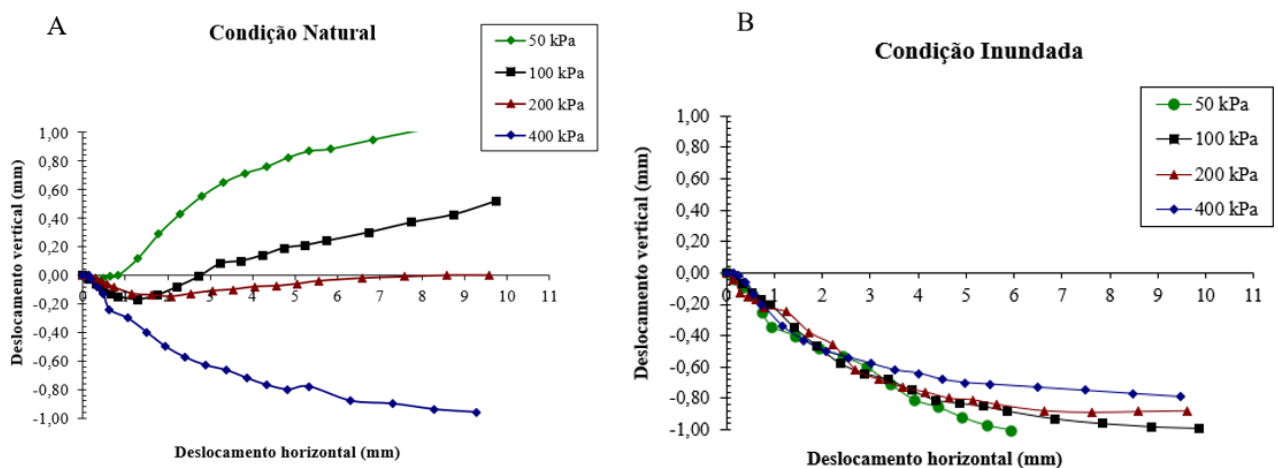
Figura 60: Curvas Tensão Cisalhante x Deformação Horizontal - Condição Natural.



Fonte: Elaborado pela autora.

As curvas de Deslocamento Vertical (mm) x Deslocamento Horizontal (mm) (Figura 61) do solo natural, apresentaram aumento de volume, quando submetidos a tensões verticais de 50 kPa e 100 kPa. Nas tensões maiores o comportamento foi de compressão. Na condição inundada, todas as curvas apresentaram comportamento de compressão.

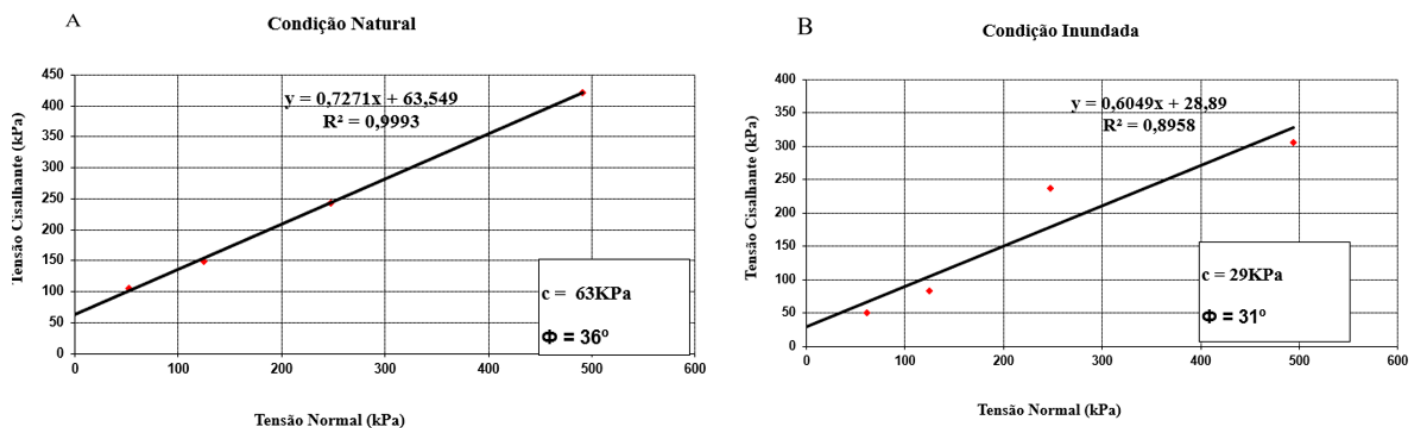
Figura 61: Curvas Tensão Cisalhante x Deformação vertical (A) Condição Natural, (B) Condição Inundada.



Fonte: Elaborado pela autora.

Foi possível observar que o ensaio de cisalhamento na condição inundada, influencia nos parâmetros de resistência do solo, causando uma redução de 53,96% na coesão e de 13,88% no ângulo de atrito, em relação a condição natural, conforme Figura 62.

Figura 62: Envoltórias de Resistência do Solo na (A) Condição Natural e (B) Condição Inundada.



Fonte: Elaborado pela autora.

A Tabela 25 apresenta parâmetros de resistência ao cisalhamento permitindo um melhor entendimento do solo local com esta característica. A partir da análise de diversos estudos envolvendo amostras de solo na Região Metropolitana do Recife -RMR, provenientes da Formação Barreiras, o solo apresenta um comportamento semelhante aos resultados das pesquisas Silva (2023), Santos (2023), Santos e Coutinho (2022), Bezerra (2022), Moraes, dos Santos e Freitas, (2020), Coutinho, Moraes e Oliveira, (2020), Souza Neto (2016), Souza (2014), Magalhães (2013), Bandeira (2010), Bezerra (2022), Lafayette (2006).

Tabela 25: Parâmetros de resistência ao cisalhamento dos solos provenientes da Formação Barreiras na Região Metropolitana do Recife -RMR.

LOCAL	REFERÊNCIA	CONDIÇÃO	c (kPa)	ϕ (°)
		Natural	63	36
	Esta Pesquisa	Inundado	29	31
	Silva (2023)	Natural	37	49
		Inundado	14	33
	Santos (2023)	Natural	21	43
		Inundado	0	37
Recife	Santos; Coutinho (2022)	Natural	3-5	30-31
	Coutinho; Moraes; Oliveira, (2020)	Natural	0-9	23 - 36
		Inundado	1-27	28 - 26
	Souza Neto (2016)	Inundado	1,2-4,3	31,4-36,7
	Souza (2014)	Natural	7 - 28	32-35
		Inundado	1- 6	30-32
Camargibe	Magalhães (2013)	Natural	13-27	30-35
		Inundado	3,3-8,7	30,32
	Bandeira (2010)	Inundado	0	35
Ilha de Itamaracá	Bezerra (2022)	Natural	44,67	35

LOCAL	REFERÊNCIA	CONDIÇÃO	c (kPa)	ϕ (°)
		Inundado	8,33	30
Cabo de Santo Agostinho	Lafayette (2006)	Natural	33-56	33-36
		Inundado	1,5-1,8	33-35
Rio Grande do Norte (Tabatinga)	Morais; dos Santos; Freitas, (2020)	Natural	65,48-276,38	35,67-42,74
		Inundado	4,65-17,80	29,67-30,17

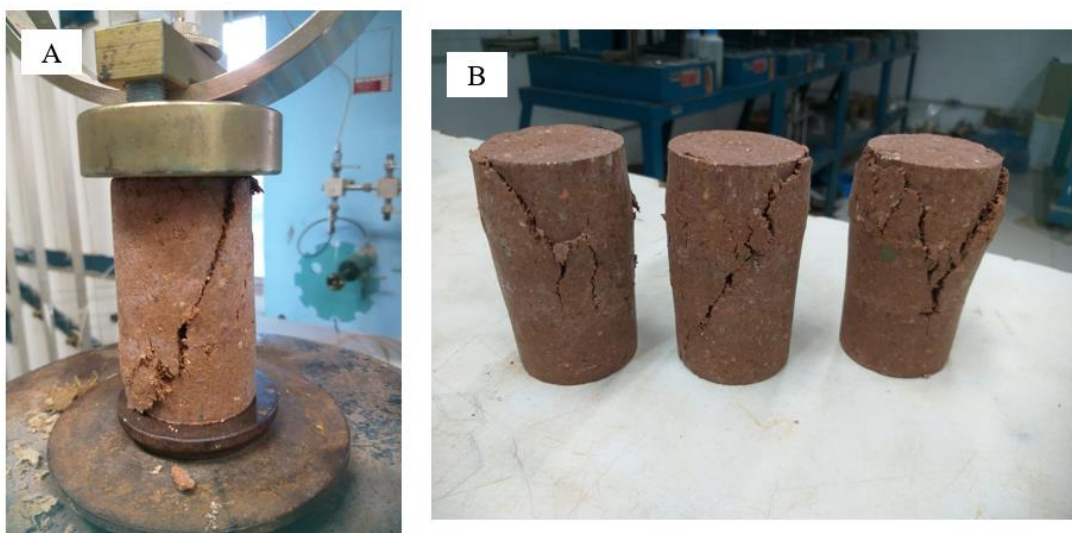
Fonte: Adaptado de Bezerra (2022).

5.7.3 Análise da resistência à compressão simples (RCS)

Para realização do ensaio de resistência à compressão simples, foram rompidas amostras de solo, RCC e compósitos, com isso foram obtidos os valores correspondentes a idade de rompimento de 07 e 28 dias.

A Figura 63 mostra alguns corpos de prova rompidos após a aplicação da carga. Observa-se que as amostras sem fibras apresentaram ângulo de ruptura na ordem aproximada de 60°. Esse tipo de ruptura foi observado nas análises de Santos (2023), Dantas (2022), Pedrosa (2021), Santos (2020). Entretanto, as amostras com fibras não apresentaram plano de ruptura bem definido.

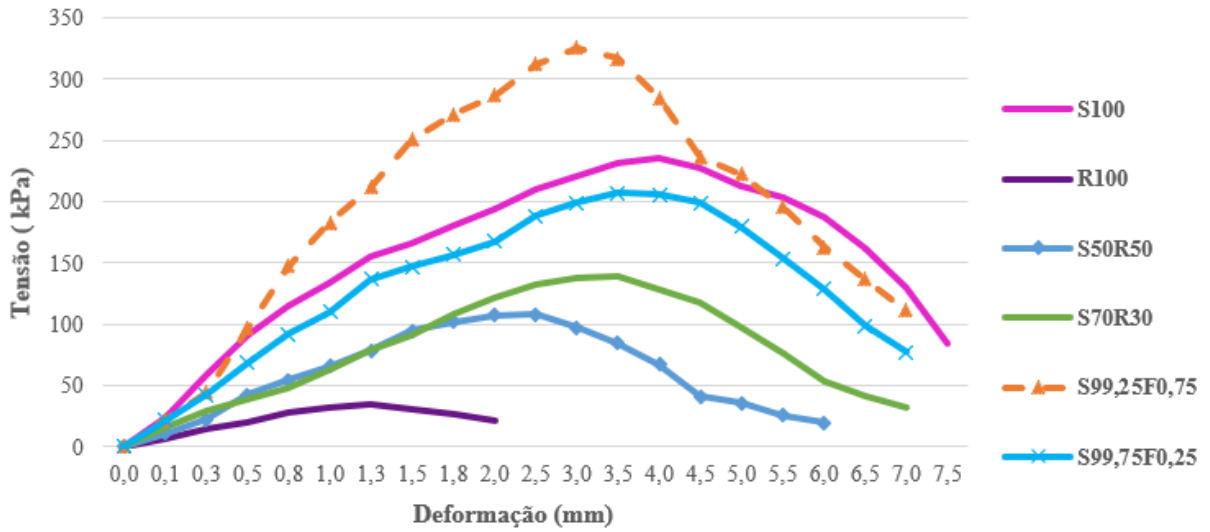
Figura 63: Rompimento das Amostras: Sem Fibra (A); Com Fibra (B).



Fonte: Elaborado pela autora.

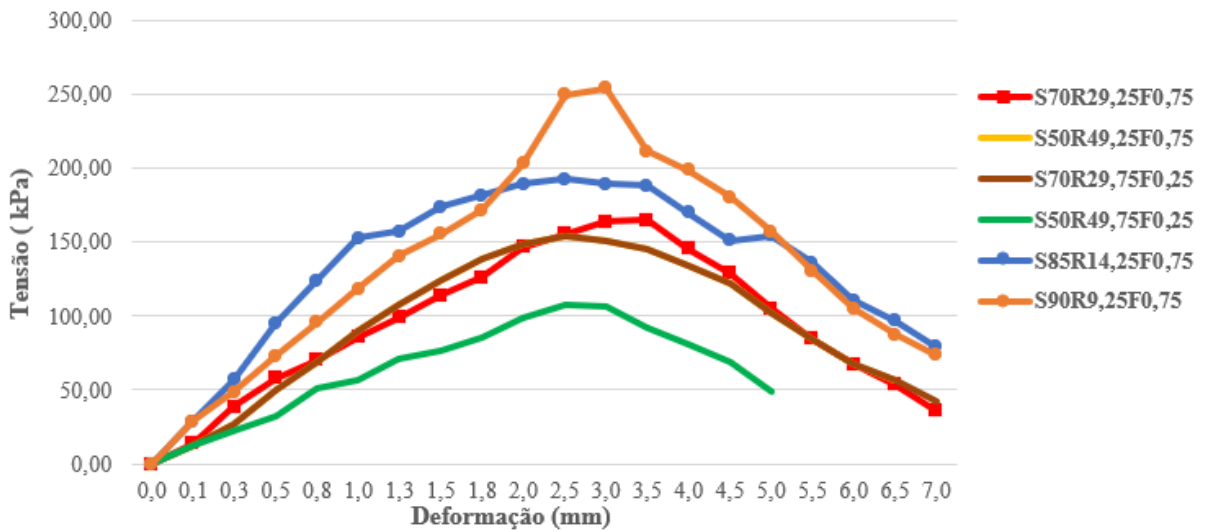
As curvas de tensão e deformação dos compósitos na idade de ruptura de 28 dias, estão representados na Figura 64 e Figura 65.

Figura 64: Curva de tensão x deformação dos materiais e compósitos (S100; R100; S50R50; S70R30; S99,25F0,75; S99,75F0,25) aos 28 dias.



Fonte: Elaborado pela autora.

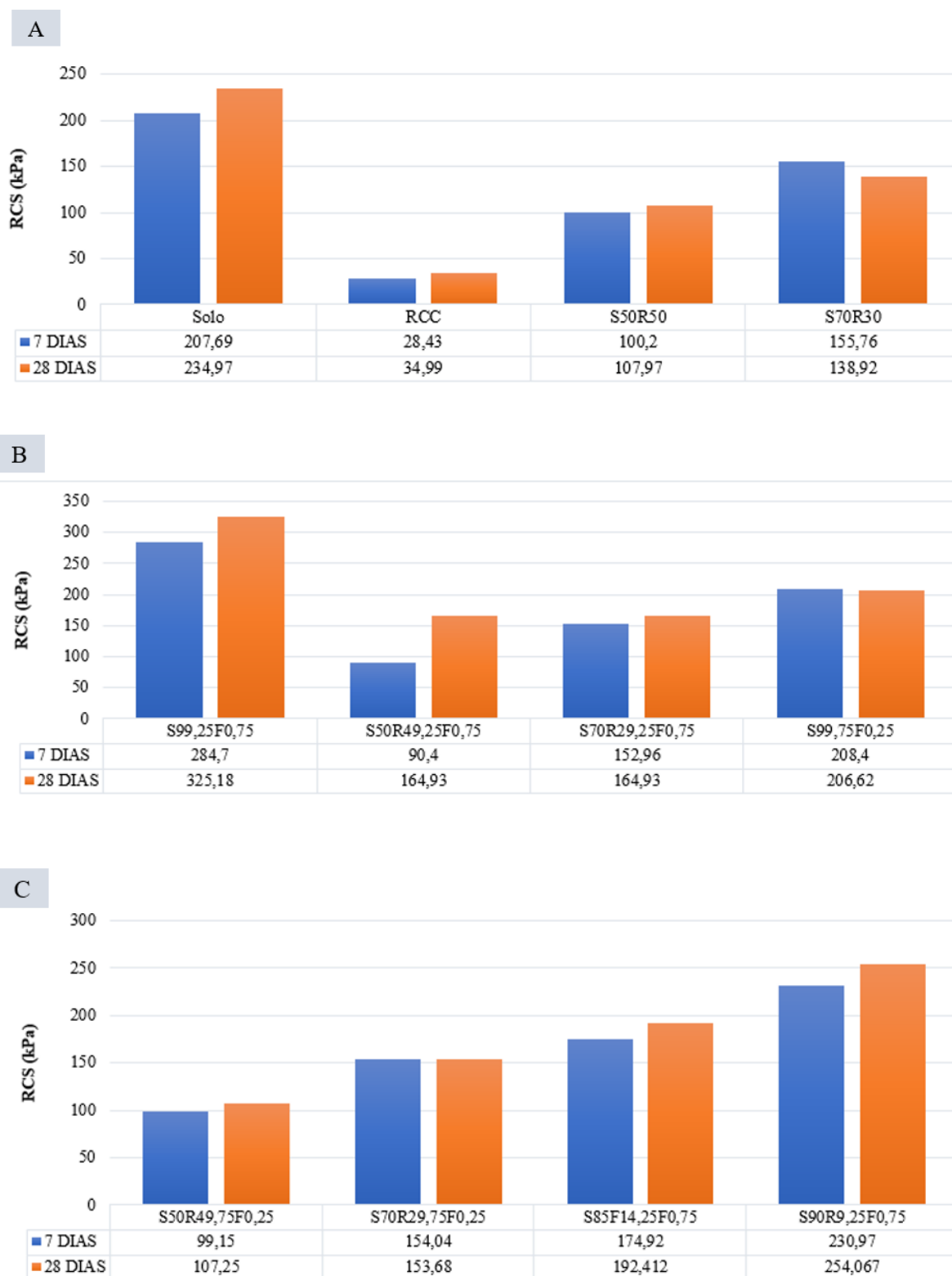
Figura 65: Curva de tensão x deformação dos materiais e compósitos (S70R29,25F0,75; S50R49,25F0,75; S70R29,75F0,25; S50R49,75F0,25; S85R14,25F0,75; S90R9,25F0,75) aos 28 dias.



Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 66 representa os valores de resistência à compressão simples dos compósitos no tempo de cura de 7 e 28 dias.

Figura 66: Resultado da resistência à compressão simples Solo; RCC, S50R50; S70R30 (A); S99F0,75; S50R49,25F0,75; S70R29,25F0,75; S99F0,25(B); S50R49,75F0,25; S70R29,75F0,25; S85R14,25F0,75; S90R9,25F0,75 (7 e 28 dias).



Fonte: Elaborado pela autora.

No período de cura de 7 e 28 dias, os resultados variaram entre 28,43 kPa e 325,18 kPa, como mostra a Figura 66. Para os compósitos compostos por RCC (S50R50; S70R30) apresentaram valores entre 100,2 kPa e 155,76 kPa respectivamente. Pode-se observar que a inserção de resíduo da construção na amostra de solo diminuiu a tensão em 51,76% (S50R50) e 25% (S70R30) se comparado ao solo natural.

Para os compósitos compostos por fibra, RCC e solo; (S50R49,25F0,75), (S70R29,25F0,75), (S50R49,75F0,25) e (S70R29,75F0,25) foi possível analisar uma diminuição da tensão em relação aos compósitos com solo e RCC, apresentando uma redução de 9,6%, 1,79%, 1,04% e 1,10% respectivamente. Já para os compósitos (S85R14,25F0,75) e (S90R9,25F0,75), os resultados foram melhores, houve um acréscimo de 7,51% na resistência aos 28 dias para a amostra (S90R9,25F0,75) e os resultados da resistência do compósito (S85R14,25F0,75) aproximou-se dos resultados obtidos no solo natural.

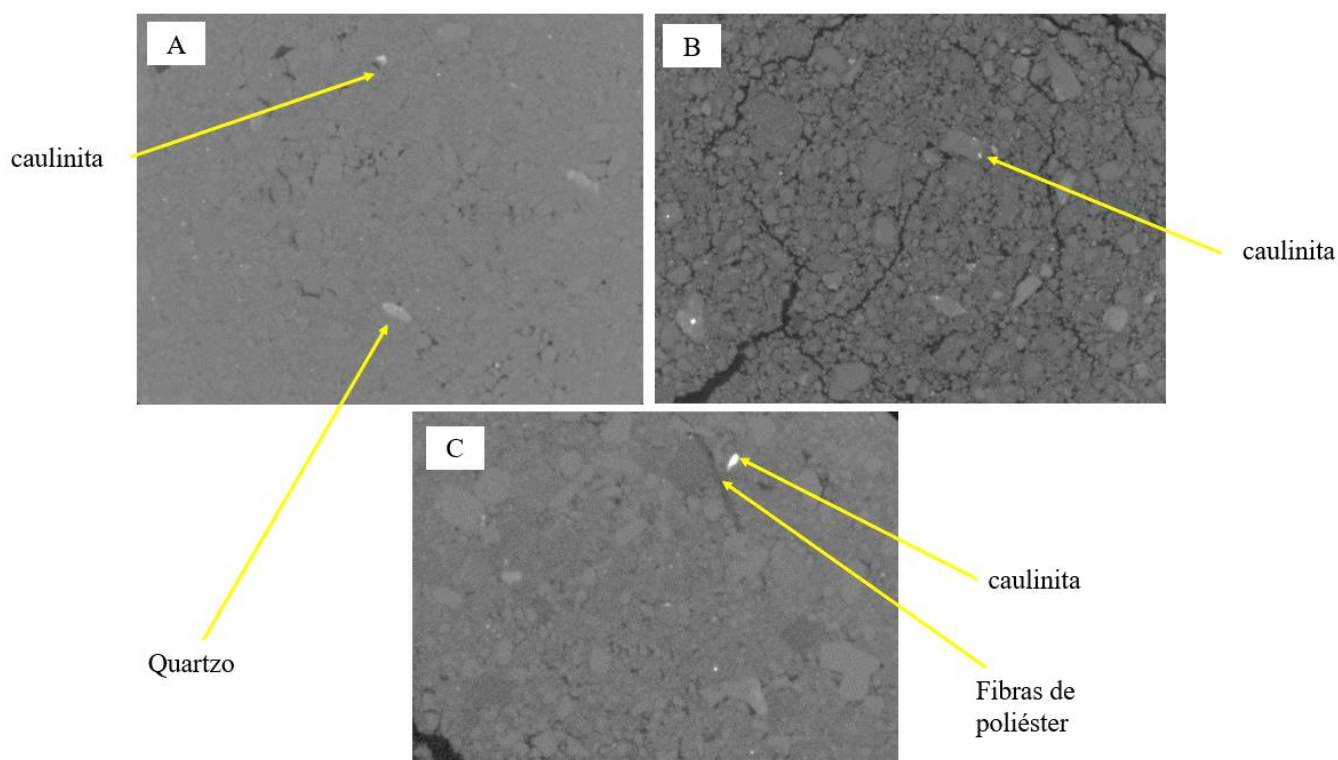
As amostras de solo com a fibra de poliéster, apresentam um crescimento da resistência à compressão associado ao aumento da deformação, com acréscimo de 38,39% (S99,25F0,75), se comparado ao solo natural. Esse comportamento foi semelhante ao encontrado por Marangoni A., Marangoni R., e Lima (2023); Santos (2023); Dantas (2022); Souza (2022); Pedrosa (2021); Zhao *et al.* (2020); Liu *et al.* (2020).

5.7.4 Caracterização por Tomografia Computadorizada

Através das imagens de alta resolução obtidas na tomografia computadorizada, foi possível realizar uma comparação qualitativa da porosidade entre as amostras de solo, RCC e do compósito S99,75RF0,25.

Na Figura 67, os pontos escuros representam os poros, e os pontos brancos representam minerais e fragmentos de rocha e, ainda, se observa a distribuição das fibras no compósito.

Figura 67: Imagens obtidas por tomografia computadorizada.



Legenda: a) amostra do solo; b) amostra do RCC; c) compósito S99,75F0,25.

Fonte: Elaborado pela autora.

Com a utilização do software ImageJ foi possível calcular a área de porosidade (η) para o solo, RCC e compósitos, conforme descrito na Tabela 26.

Tabela 26: Área de porosidade do solo, RCC e S99,75F0,25 obtidos no ensaio de Tomografia Computadorizada.

Amostra	Área de porosidade (%)
Solo	63,71%
RCC	81,97%
S99,75F0,25	54,84%

Fonte: Elaborado pela autora.

A porosidade do compósito de RCC corroboraram com os estudos Fuji (2012) e Santos (2019). 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. Santos (2019), analisou o comportamento de compósitos a partir da mistura de solo-RCC-fibra de coco babaçu verificando que com a adição da fibra e do RCC houve uma diminuição de 50% no teor de porosidade.

De acordo com os resultados do ensaio de TC, considerou-se que a utilização do compósito S99,75F0,25 é recomendável, visto que os percentuais são inferiores ao do solo natural, com uma redução da porosidade em torno de 8,87%.

5.7.5 Análise de Estatística da RCS – Superfície de Resposta

Para determinar o teor do compósito mais viável estatisticamente, foram adicionados os parâmetros que influenciaram nos valores da resistência (Tabela 27). Segundo o modelo apresentado por Silva *et al.* (2021) e Pedrosa (2021), parâmetros, como o tempo de cura das amostras (TC), o resíduo da construção civil (RCC) e a fibra, são variáveis independentes que influenciam na estabilização de solos.

Tabela 27: Variáveis independentes utilizadas na estatística

PARÂMETROS	PROPORÇÕES
RCC	0% - 30% - 50% - 100%
Fibra de Poliéster (FP)	0% - 0,25% - 0,75%
Tempo de Cura (TC)	07 - 28 (dias)

Fonte: Elaborado pela autora.

Os resultados encontrados na análise estatística são apresentados na Tabela 28. Os fatores: grau de liberdade (G.L), soma dos quadrados (SQ), média dos quadrados (MQ) e Valor-F (Fc) são medidas da amplitude de variação que as variáveis independentes possuem na RCS, sendo importantes para determinar o Valor-P.

Tabela 28: ANOVA das variáveis independentes.

	GL	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
Modelo	6	300423	50071	95,47	0
RCC (%)	1	220905	220905	421,20	0
FIBRA (%)	1	2639	2639	5,03	0,029
DIAS	1	2458	2458	4,69	0,034
FIBRA^2	1	4594	4594	8,76	0,004
RCC*FIBRA	1	23476	23476	44,76	0
FIBRA*DIAS	1	3297	3297	6,29	0,015
Erro	59	30943	524	-	-
Falta de ajuste	15	28619	1908	36,12	0
Erro puro	44	2324	53	*	*
Total	65	331366			

Fonte: Elaborado pela autora.

A análise de todas as variáveis independentes apresentou uma boa aderência ao modelo, pois os valores-P foram muito abaixo do limite (Valor-P < 0,05), corroborando com Silva *et al.*

(2021) e Pedrosa (2021). Entretanto, a interação do RCC^2 e $RCC*DIAS$ apresentou um limite superior ao nível de significância (0,05), mostrando que não influencia no modelo.

O modelo matemático apresenta um R^2 de 90,66% (Tabela 29), indicando um bom grau de representação para estudos dessa natureza (BRUNING *et al.*, 2019; GÜLLÜ; FEDAKAR, 2017; SANTOS, 2023; SILVA, 2023; WANG; CHENG; TAN, 2018). Outro fator que torna o modelo adequado é a diferença entre os valores do R^2 ajustado e do R^2 previsto, que foi de 1,4%. Sheikhmohammadi *et al.* (2017) afirmam que a diferença entre os R^2 ajustado e previsto, quando menor que 20%, qualifica o modelo como adequado.

Os resultados para a regressão do modelo são apresentados na Tabela 29 com a sintetização do modelo estatístico, com as combinações e análises de variância (ANOVA).

Tabela 29: Modelo Sintetizado.

S	R ² (Modelo)	R ² Ajustado (Modelo)	R ² Previsto Ajustado (Modelo)
22,90	90,66%	89,71%	88,31%

Fonte: Elaborado pela autora.

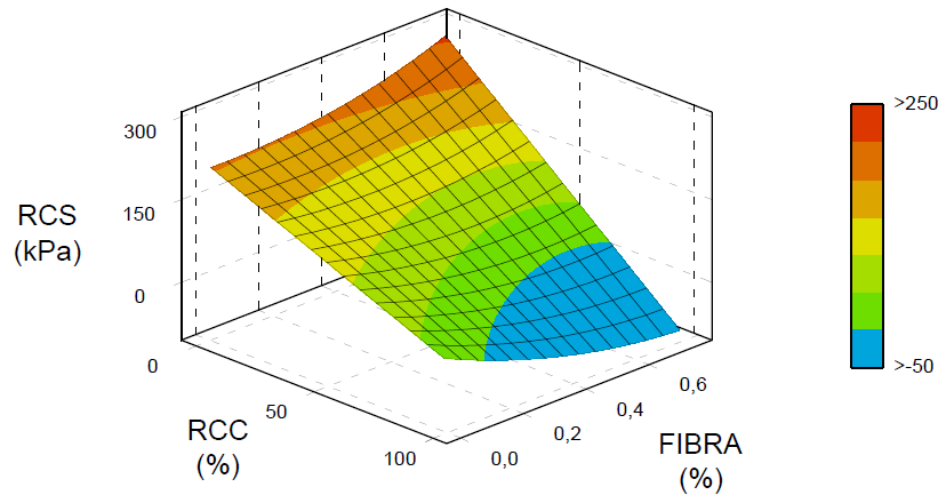
A Equação 4 mostra o resultado da regressão polinomial do modelo, fundamentado para a otimização da variável de resposta.

$$RCS = 208,83 - 1,78 * RCC - 57,2 * FIBRA (\%) - 0,201 * DIAS + 152,2 * FIBRA^2 - 2,515 * RCC * FIBRAS + 2,126 * FIBRA * DIAS$$

Equação 4

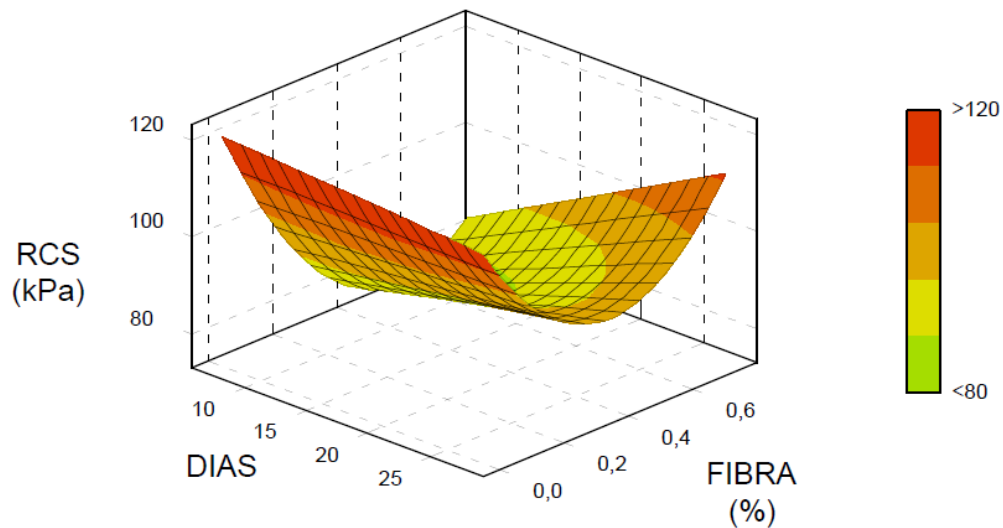
Foi obtida a superfície de resposta do modelo com duas variáveis independentes, que é fundamental para a definição da otimização do sistema, descrevendo mais precisamente as interações entre as variáveis independentes, influenciando na RCS. Percebe-se que, quanto mais tempo de cura e mais fibra, maiores são os resultados da RCS (Figura 68). Com o tempo de cura 28 dias, quanto mais RCC e menos fibra, menores são os resultados da RCS.

Figura 68: Superfície de Resposta: RCSxRCCxFB.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 69: Superfície de Resposta: RCSxDIASxFB.



Fonte: Elaborado pela autora.

Utilizando a Equação 4, variando os teores de incorporação (RCC, FB e TC), foi possível analisar o comportamento dos compósitos, prevendo os resultados da RCS. Com isso,

conforme apresenta a Tabela 30, encontraram-se as quantidades necessárias para maximizar o valor da variável dependente (RCS).

Tabela 30: Variáveis de otimização do valor da RCS.

RCC (%)	FP (%)	TC (Dias)	RCS (kPa)
0	0,75	28	292,248

Fonte: Elaborado pela autora.

Nota-se que a variável independente RCC, na estatística da superfície de resposta, não influencia no aumento da RCS dos compósitos, contudo, a incorporação da fibra de poliéster e o TC coincidem com limites utilizados nesta pesquisa, indicando que a fibra e o TC tendem a aumentar a resistência.

6 CONCLUSÕES

Os deslizamentos de terra ocorrem, na maioria das vezes, pela soma de fatores naturais e antrópicos. Foi identificado que o crescimento desordenado da expansão urbana nas áreas de encostas é fator determinante para a ocorrência de desastres naturais, assim como, deslizamentos recentes que ocorreram no bairro de Nova Descoberta. Por meio da análise temporal da encosta localizada na Rua Córrego do Leôncio no município de Recife/PE, foi possível identificar e analisar os impactos gerados pela ocupação urbana irregular entre os anos de 1975 e 2023.

Foram evidenciados problemas como cortes de taludes, lançamentos indiscriminados, ausência de sistema de drenagem adequado e ocupações irregulares, mostrando o avanço dos processos erosivos do talude e as ações antrópicas como fator determinante para esse problema. Com relação à análise temporal, foi possível verificar que ao longo dos 48 anos, houve um aumento da área urbana de 305,56%, bem como uma diminuição das áreas de vegetação natural em 65,41%, nas áreas de solo exposto em 60,87% e um aumento de 33,33% do eixo viário.

Foi possível perceber que o aumento da área urbana teve seu maior crescimento, entre as análises realizadas nos anos de 2007 e 2023. Esse fato pode estar relacionado ao maior crescimento populacional ocorrido na região no início anos 2000.

Através dos resultados da análise AHP, foi verificado que uma parcela de 23,52 km² da RPA 3 em estudo é representada por áreas de alta suscetibilidade a movimentos de massa, o que equivale a 30,79% da área. Já as que apresentam baixas e moderadas propensões correspondem, respectivamente, a 45,30% e 58,73% do território. As regiões categorizadas pelo mapeamento de alta propensão a movimentos de massa são as que possuem uma combinação de fatores correlacionados, como elevadas altitude e declividade e solos mais argilosos.

Em relação ao modelo GTP, nota-se que os aspectos dinâmicos do ambiente, prevaleceu utilizando a imagem estática das áreas de estudo. Pelo lado do geossistema, a análise ambiental se faz predominantemente utilizando álgebra de mapas. Pelo lado territorial, utiliza-se predominantemente o histórico de uso e ocupação de solo ao longo de 48 anos. Pelo lado da paisagem, a entrada cultural, prevalece utilizando ortofotocartas e fotografias da região.

Quanto ao mapeamento à suscetibilidade a movimentos de massa, através da análise AHP e o modelo GTP retratam uma alternativa viável quanto à eficiência e aplicabilidade, possibilitando que gestores e/ou profissionais da área realizem tomadas de decisões mais assertivas. Fundamentando o planejamento e medidas preventivas e mitigadoras quanto aos movimentos de massa, reduzindo os impactos negativos causados por esse processo.

Quanto a granulometria, através do SUCS foi possível classificar o solo como SC, areia argilosa, devido a presença de mais de 50% de material passante na peneira nº 200 e limite de liquidez abaixo de 50. As misturas de solo e agregado reciclado (S70R30 e S50R50) apresentaram classificação pelo SUCS, como uma areia siltosa -areia argilosa – (SM-SC), enquanto o agregado reciclado foi classificado como uma areia siltosa – SM. Outro aspecto observado é que os compósitos gerados pelo solo e RCC, aumentaram a densidade seca máxima e diminuiu a umidade ótima quando comparado ao S100. Já a adição da fibra de poliéster (PET), o solo apresentou ganhos na densidade e na umidade ótima.

Quanto à plasticidade, o solo foi classificado como medianamente plástico; o RCC, como não plástico; e os dois compósitos (S70R30 e S50R50) como medianamente plástico. Na análise química através do ensaio de fluorescência de Raio – X, detectou que os materiais de solo e RCC são constituídos por aproximadamente 50% de óxido de silício (SiO_2), elemento muito presente em materiais arenosos, corroborando com os resultados encontrados nos ensaios de difratometria de Raio -X, lupa binocular e teores de sais.

Os parâmetros de compactação obtidos mostraram que a substituição do resíduo obteve um aumento de 1,7% na densidade seca máxima, contudo diminuiu a umidade ótima em 6,4%. Já com a substituição da fibra de poliéster, o ganho de densidade e umidade ótima não foi tão significativo.

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.

Por fim, com estes resultados, percebe-se que a substituição do solo pelo RCC apresentou resultados satisfatórios no tempo de cura de 7 e 28 dias para o compósito S90R9,25F0,75, como apresentando também, no resultado da análise estatística. Outro aspecto importante é que a fibra, se mostrou uma boa alternativa, quanto aos parâmetros apresentados no compósito S99,25F0,75, contudo espera-se que a adição da fibra melhore as propriedades físicas e mecânicas do solo, tornando uma alternativa interessante para estabilização da encosta, como mostra diversos estudos.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir dos resultados obtidos encontrados, sugerem-se alguns pontos, como diretrizes para pesquisas futuras:

- Investigar a característica mecânica de compósitos com teores de fibra de poliéster superiores a 0,75%;
- Verificar, in situ, o comportamento da encosta após incorporação do RCC e das fibras de poliéster;
- Realizar ensaios geotécnicos (SPT e resistência ao cisalhamento em várias camadas);
- Realizar ensaio MCT (Miniatura, Compactado, Tropical);
- Investigar o potencial de erodibilidade dos materiais e compósitos através de ensaios indiretos e diretos.

8 REFERÊNCIAS

- ABRANTES, P.; GOMES, E.; ROCHA, J.; TEIXEIRA, J. **Uso e ocupação do solo no concelho de Lousada: dinâmicas, padrões e futuro provável**. Lucanus, Lousada, v. 2, p. 94- 108, 2018.
- ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2022**. Abrelpe, São Paulo, SP. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama/>. Acesso em: 15 jul. 2023.
- AKHTAR, A.; SARMAH, A. K. Construction and demolition waste generation and Properties of recycled aggregate concrete: A global perspective. **Journal of Cleaner Production**, [Amsterdã], v. 186, p. 262–281, 2018.
- ANDRADE, E. de L., CALHEIROS, S. Q. C., & CONCEIÇÃO, D. N. da (2018). Áreas críticas à ocupação urbana sujeitas a deslizamento de terra na bacia hidrográfica do riacho Reginaldo, Maceió-AL. **Revista Contexto Geográfico**, 3(5), 1 – 11. <https://doi.org/10.28998/contegeo.v3i5.6742>.
- ALBUQUERQUE, R. A. **Análise de uma encosta em área de risco no município de Jaboatão dos Guararapes/PE**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Pernambuco, Recife, 2016.
- AL-HEETY, Ahmed JR; SHANSHAL, Zainab M. Integração da tomografia de refração sísmica e da tomografia de resistividade elétrica na geofísica de engenharia para caracterização de solos. **Arabian Journal of Geosciences** , v. 9, p. 1-11, 2016.
- ALMEIDA, S.M. **Análise do comportamento do solo com adição de resíduos da construção e fibras de sisal**. Dissertação (Mestrado e Engenharia Civil) – Universidade de Pernambuco, Recife, 2021.
- ALHEIROS, M. M.; SOUZA, M. Â. A.; BITOUN, J; MEDEIROS, S. M. G. M.; JÚNIOR, W. M. A. **Manual de Ocupação dos Morros da Região Metropolitana do Recife**. Fundação de Desenvolvimento Municipal FIDEM; coord. Margareth Mascarenhas Alheiros... (et al.). -Recife: Ensol, 2004.
- ALHEIROS, M; F, Maria da Graça; LIMA FILHO, Mario. **Mapa Geológico do Recife**. Recife 3ª Divisão de Levantamento/ MEx ,1995.
- ALTSCHUL, J. S; DE OLIVEIRA, I. P. V; DA NÓBREGA, M. de J. R. Resíduo da construção e demolição-tecnologias e problemas: um estudo de caso. **Revista Tecnológica da Universidade Santa Úrsula**, v. 3, n. 1, p. 13-31, 2020.
- ANANIAS, E. J.; TEIXEIRA, A. M.; DURAN, J. S. O uso crescente de solos reforçados para contenções em áreas urbanas: uma ênfase aos 20 anos da solução Terramesh no Brasil. **Artigo Científico**. São Paulo –Jundiaí. 2013.
- ANUMATA, S. E.; OGWUEGBU, M. O. C.; NWOKO, I. A.; AKALEZI, C. O. Mineralogical and Elemental Analysis of Clay Sample from Iyinwaogba Umuosode Alike Ikenanzizi Obowo Local Government Area of Imo State. **J. Mater. Environ. Sci**, vol. 12, no.4, p. 511–531, 2021.
- AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA. **Boletins Meteorológicos**. Disponível em: <https://www.apac.pe.gov.br/boletins>. Acesso em: 15 fev 2024.

ARAÚJO, H. M. C. de. **Percepção do risco a deslizamentos em áreas vulneráveis na Serra do Bodopitá, Queimadas/PB**. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande. Paraíba, p. 67. 2019. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/3710>Acesso em: 06 set. 2022.

ASLAM, B.; MAQSOOM, A.; KHALIL, U.; GHORBANZADEH, O.; BLASCHKE, T.; FAROOQ, D.; TUFAIL, R. F.; SUHAIL, S. A.; GHAMISI, P. Evaluation of Different Landslide Susceptibility Models for a Local Scale in the Chitral District, Northern Pakistan. **Sensors**, v. 22, n. 9, 3107, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6457**: Preparação para ensaios de compactação e caracterização. Rio de Janeiro, 2016. (Versão corrigida em 2016).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6459**: Solo – Determinação do Limite de Liquidez. Rio de Janeiro, 2016. (Versão corrigida em 2017)

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7181**: Solo – Análise Granulométrica - Procedimento. Rio de Janeiro, 2016. (Versão corrigida em 2018)

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7182**: Solo - Ensaio de Compactação - Procedimento. Rio de Janeiro, 2016. (Versão corrigida em 2020)

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 12770**: Solo coesivo – Determinação da resistência à compressão não confinada. Rio de Janeiro, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PET – **ABIPET**. Benefícios da Embalagem PET. Disponível em: <https://abipet.org.br/beneficios-da-embalagem-pet/>Acesso em 13 mar. 2024.

BAI, Y.; LIU, J.; SONG, Z.; CHEN, Z.; JIANG, C.; LAN, X.; SHI, X.; BU, F.; KANUNGO, D.P. Unconfined compressive properties of composite sand stabilized with organic polymers and natural fibers. **Polymers**, v. 11, n. 10, 2019.

BAÍA, L. B. *et al.* Provenance of the Middle Miocene Barreiras Fan Delta in the Onshore Pará-Maranhão Basin, Northern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 122, p. 104175, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2022.104175>.

BALAGUER, D. A.; ALVES, R. M. Análise multicritério e uso de SIG para projetos comusode energia solar fotovoltaica: um estudo bibliométrico. In: SIMPÓSIO NACIONALDEGESTÃO E ENGENHARIA URBANA, 3., 2021. **Anais....** Porto Alegre: ANTAC, 2021. p. 218–225.

BARBOSA, F. G. **Estrutura e análise espaço temporal da vegetação do manguezal do Pina, Recife-PE: subsídios para manejo, monitoramento e conservação**. 2010. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.

BDIA. Banco de Dados e Informações Ambientais.Disponível em:<https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/home>. Acesso em: 15 mai. 2024.

BRADY, N. C. **Natureza e propriedades dos solos (Tradução de Antônio B. Neiva Figueiredo Filho)**, 5ª edição, Rio de Janeiro, Ed. Freitas bastos, p. 647, 1979.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA 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: Poder executivo, Seção 1, Brasília, DF, n. 136, p.95-96, 17 jul. 2002.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução CONAMA Nº 348, de 16/08/2004.

BERTRAND, G.; BERTRAND, C. **Une géographie traversière - l'environnement traversterritoires et temporalités**. Paris: éditions Arguments, 2002.

BERTRAND, G; BERTRAND, C. Uma geografia transversal e de travessias: o meio ambiente através dos territórios e das temporalidades. **Maringá: Massoni**, v. 360, 2007.

BEZERRA, J. da S. **Análise do processo erosivo de uma encosta no bairro de Bom Jesus – Ilha de Itamaracá/PE**. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Pernambuco, Pós graduação em Engenharia Civil, Recife, 2022.

BULTI, D.T., ABEBE, B.G. **Analyzing the impacts of urbanization on runoff characteristics in Adama city**, Ethiopia. SN Appl. Sci. 2, 1151, 2020. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-2961-3>.

BROWN, G.; BRINDLEY, G.W. **X-ray Diffraction Procedures for clay mineral Identification**. In: BRINDLEY, G.W; BROWN, G. London, v. 5, p. 305-360, 1980.

BRUNING, J.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; BOSCAINI, R.; CONCEIÇÃO, C. G. da; GOLLO, E. de D. A. Estimativa da curva de retenção de água no solo por função de 138 pedotransferência. Cultura Agronômica: **Revista de Ciências Agrônomicas**. v. 28, n. 1, p. 97–110, 2019. DOI: <https://doi.org/10.32929/2446-8355.2019v28n1p97-110>.

CAMILO, BQ; CARDOSO, CNP.; BATISTA, SBS.; MARQUES, A.; GADELHA, HS.; CASTRO FILHO, HM.; MEDEIROS, RF de .; SANTOS, SA dos. Resíduos sólidos na construção civil: análise gerencial dos impactos impactados ao meio ambiente. **Investigação, Sociedade e Desenvolvimento** , [S. l.] , v. 11, n. 2, pág. e32711220994, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i2.20994. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/20994>. Acesso em: 5 jul. 2023.

CALDEIRA, I. M. G. **Resistência e deformabilidade de uma areia estabilizada com cimento e fibras de polipropileno**. 2012.125 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2012.

CARVALHAIS, R. M.; MORAES, N. A.; SILVA, H. F.; BERNARDES, I. M. M. Deslizamento de Encostas Devido a Ocupações Irregulares/Slopeslopedueto irregular occupations. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 7, p. 9765-9772, 2019.

CARVALHO, C. B.; KORNOWSKI, M.; SOLANA-GONZÁLEZ, P.; VANTI, A. A. Aumento da capacidade de prestação de serviços por meio da escolha de fornecedores pelométodo AHP. **Revista de Gestão Estratégica de Organizações**, v. 8, n. 1, p. 88-99, 2020.

CAVALCANTE, M.G.T. **Análise das ações educativas promovidas pela Coordenadoria de Defesa Civil de Pernambuco direcionadas para prevenção/mitigação dos desastres naturais**. Recife, 2016. 124p. Dissertação (Mestrado) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - IFPE, Campus Recife, Coordenação de Pós-Graduação - Mestrado Profissional em Gestão Ambiental, 2016.

CHEN, M.; GOWTHAMAN, S.; NAKASHIMA, K.; KAWASAKI, S. Evaluating Mechanical Strength of Peat Soil Treated by Fiber Incorporated Bio-cementation. *International Journal of GEOMATE*, vol. 20, no. 78, p. 121–127, 2021. DOI:<https://doi.org/10.21660/2021.78.Gx162>.

CEMADEN. **Cemaden e IBGE lançam base de dados sobre população exposta em áreas de risco de desastres**. 2018. Disponível em: <http://www2.cemaden.gov.br/cemaden-e-ibge-lancam-base-de-dados-sobre-populacao-exposta-em-areas-de-risco-de-desastres/> > Acesso em: 06 set. 2022.

CELESTINO, A. C.; MENDONÇA, D. da C.; SOBRAL, A. da C. S. . Análise da Influência da Adição de Fibra de Coco nas Características Físicas do Solo. **Caderno de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas - UNIT - SERGIPE**, [S. l.], v. 8, n. 1, p. 38–56, 2023. Disponível em: <https://periodicos.grupotiradentes.com/cadernoexatas/article/view/11346>. Acesso em: 4 jul. 2023.

COUTINHO, R.Q.; DE MORAIS, B.D.; DE OLIVEIRA, M.S. Caracterização Geotécnica de Encostas da Formação Barreiras Localizadas no Bairro Ibura (Cohab), Recife-PE, 2020. **XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica**.

DANTAS, S. N. **Aproveitamento de resíduos de garrafas de PET para reforço de um solo argiloso**. 2022. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2022.

DA SILVA, F. G. A.; LAFAYETTE, K. P. V.; SILVA, R. G. P. da S. Temporal Analysis of the Occupation of Urban Space in an Area of Physical and Environmental Vulnerability: A Case Study in the Neighborhood of Macaxeira, Recife-PE. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, São Paulo (SP), v. 17, n. 2, p. e03219, 2023. DOI: 10.24857/rgsa.v17n2-026. Disponível em: <https://rgsa.emnuvens.com.br/rgsa/article/view/3219>. Acesso em: 21 feb. 2024.

DA SILVA, W. F.; JÚNIOR, E. M. M.; DA SILVA, Osvaldo Girão. Uma análise teórica a partir da perspectiva sistêmica dos espaços de riscos geomorfológicos na cidade do Recife--Pernambuco. **Espaço Aberto**, v. 8, n. 1, p. 127-146, 2018. <https://doi.org/10.36403/espacoaberto.2018.15595>. Acesso em: 25 maio 2023.

DA SILVA, M.H.S; PASSOS, M.M dos; SAKAMOTO, A.Y. As Lagoas Salitradas do Pantanal da Nhecolândia: um estudo da paisagem baseado no modelo GTP – Geossistema, Território e Paisagem , **Confins [Online]**, 19 | 2013, postado em 18 de novembro de 2013 , consultado em 14 de julho de 2023 . URL : <http://journals.openedition.org/confins/8614>; DOI : <https://doi.org/10.4000/confins.8614>.

DINIZ, J. F. B. et al. Secagem de fibras de sisal em estufa com circulação forçada de ar: Um estudo experimental. **Research, Society and Development**, [s.l.], v. 9, n. 10, 2020.

DOS PASSOS, M.M. **O GTP bertrandiano transladado para a realidade da Geografia brasileira**. *Geosul*, v. 36, n. 80, p. 17-42, 2021.

DOS SANTOS, J.C., COUTINHO, R.Q. Geological and Geotechnical Characterization of Soils from the Barreiras Formation in a Subarea of Study in Maceio, Alagoas State, Brazil. **Geotech Geol Eng** 41, 107–133 (2023). <https://doi.org/10.1007/s10706-022-02266-8>. Acesso em: 25 maio 2023.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA–EMBRAPA. **Mais de 80% da população brasileira habita 0,63% do território nacional.** Campinas: EMBRAPA, 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/28840923/mais-de-80-da-populacao-brasileira-habita-063-do-territorio-nacional>. Acesso em: 28 mar.2023.

ESMAEILPOURSHIRVANI, N.; TAGHAVIGHALESARI, A.; TABARI, M.K.; CHOORBASTI, A.J. Improvement of the engineering behavior of sand-clay mixtures using kenaf fiber reinforcement. **Transportation Geotechnics**, v. 19, p. 1–8, 2019.

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

FERREIRA LEITE, L. C. O; CORTINES, E. Análise da Fragilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do Córrego Cantagalo, Três Rios, RJ - BRASIL. **GEOFRONTER**, [S. l.], v. 10, p. e8317, 2024. DOI: 10.61389/geofronter.v10.8317. Disponível em: <https://periodicosonline.uems.br/index.php/GEOF/article/view/8317>. Acesso em: 14 fev. 2024.

FERREIRA, G.S.L; SILVA, T.M.P; OHANA, C.C; MATOS, B. da C.; CLEITON, W.C.S; FERREIRA, E.; ARAUJO, E.C.G; FULAN, J.A; JUNIOR, N.F. R. dos S.; VENDRUSCOLO, J. Análise Temporal e Espacial da Cobertura do Solo na Microbacia Rio do Gato, Amazônia Ocidental, Brasil. **RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar** - ISSN 2675-6218, [S. l.], v. 3, n. 11, p. e3112238, 2022. DOI: 10.47820/recima21.v3i11.2238. Disponível em: <https://recima21.com.br/index.php/recima21/article/view/2238>. Acesso em: 25 jun. 2023.

FILGUEIRA, J. G. ; VITAL, H. .; LUCENA, L. R. F. de . Assinatura isotópica (Sm-Nd) e faciológica da Formação Barra de Tabatinga: novas considerações sobre o registro de um paleonível marinho pleistocênico no Nordeste brasileiro. **Geologia USP. Série Científica**, [S. l.], v. 23, n. 1, p. 69-80, 2023. DOI: 10.11606/issn.2316-9095.v23-182796. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/guspssc/article/view/210485>. Acesso em: 30 maio. 2023.

FONTOURA, T.B., COUTINHO, R.Q. & DA SILVA, F.O.T. Geochemical and Mineralogical Contributions in the Study of Sedimentary Rock (Barreiras Formation) Soils, Recife/Brazil: Implications for Landslides. **Geotech Geol Eng** 41, 205–224 (2023). <https://doi.org/10.1007/s10706-022-02274-8>. Acesso em: 25 maio 2023.

FORMIGONI, A.; SANTOS, S. da C.; MEDEIROS, B. T. Logística reversa e sustentabilidade para a melhoria da cadeia: uma abordagem no panorama da reciclagem PET no Brasil. **Revista Metropolitana de Sustentabilidade**. São Paulo, v. 4, n. 3, p. 108-125, 2014.

FREIRE, L. V.; JÚNIOR, . O. F. dos S.; INGUNZA, M. del P. D.; CHAVES, L. F. M.; NETO, O. de F. Caracterização química, mineralógica e geotécnica de sedimentos da formação barreiras e pós-barreiras - litoral sul do Rio Grande do Norte, Brasil. **Revista de Geociências do Nordeste**, [S. l.], v. 8, n. 2, p. 76–90, 2022. DOI: 10.21680/2447-3359.2022v8n2ID23638. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/revistadoregne/article/view/23638>. Acesso em: 13 maio. 2023.

FREITAS, L. **Reaproveitamento de resíduos sólidos da construção civil no Brasil.** Belo Horizonte: Dom total, 2018. Disponível em: <https://domtotal.com/noticia/1262733/2018/06/reaproveitamento-de-residuos-solidos-da-construcao-civil-no-brasil/>. Acesso em: 03 jan.2023.

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.

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.

GARCEZ, L. R.; LEITE, H. E. S. C.; ARAÚJO, J. da S.; FRANÇA, B. de S. M. Desafios no gerenciamento de resíduos em construção de pequeno porte. **Revista Engenharia de Interesse Social**. João Monlevade, v. 5, n. 6, p. 150-172, jul./dez. 2020. Doi: <https://doi.org/10.35507/252560>.

GERSCOVICH, D. M. S. Estabilidade de taludes. 2. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2016.

GIRÃO, I. R. F.; RABELLO, D. R.; ZANELLA, M. E. Análise teórica dos conceitos: riscos socioambientais, vulnerabilidade e suscetibilidade. **Revista de Geociências do Nordeste, Natal**, v. 4, p. 71-83, 2018.

GOMES, N. C. **Comportamento hidromecânico de solos reforçados com fibras pet para aplicação em barreiras de contenção de resíduos**. 2018. 60 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

GUEDES, F. L.; EL-DEIR, S. G.; JUCÁ, J. F. T.; LIMA, I. L. P. Multicriteria analysis for prioritizing the energy use of urban solid waste as a fuel in Paulista-PE. **Production**, n. 31, e20210071, p. 1-13, 2021.

GÜLLÜ, H.; FEDAKAR, H. I. Response surface methodology for optimization of stabilizer dosage rates of marginal sand stabilized with sludge ash and fiber based on UCS performances. **KSCIE Journal of Civil Engineering**, v. 21, n. 5, p. 1717-1727, 2017.

GUSMÃO FILHO, J. A. a experiência em encostas ocupadas do Recife: integração técnica, institucional e comunitária. **Rev. IG.**, São Paulo, Volume Especial, p. 9-22, 1995.

HSIEH, J. **Computed tomography principles, design, artifacts, and recent advances**. 2 ed. Bellingham: SPIE; 2009.

IBGE. **Cidades e Estado**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pe/recife.html>. Acesso 20 dez. 2023.

IBGE. **População cresce, mas número de pessoas com menos de 30 anos cai 5,4% de 2012 a 2021**. Agência notícias IBGE, 2022. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/34438-populacao-cresce-mas-numero-de-pessoas-com-menos-de-30-anos-cai-5-4-de-2012-a-2021#:~:text=Os%20dados%20foram%20divulgados%20hoje,14%2C7%25%20da%20populacao%20de%2030%20anos>. Acesso 15 set. 2022.

JESUS, J.; BORGES, M. T. Salinização de solos em Portugal. **Revista de Ciência Elementar**, vol. 8, no. 03, p. 1-5, 2020. DOI: doi.org/10.24927/rce2020.047

LAFAYETTE, K. P. V. **Estudo geológico-geotécnico para o entendimento do processo erosivo no parque metropolitano Armando de Holanda Cavalcante no Cabo de Santo Agostinho / PE**. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Pernambuco, Pós graduação em Engenharia Civil, Recife, 2006.

LEITE, B.L.F; LUCENA, A.M.D.S. Utilização de Resíduos da Construção e Demolição – RCD com Aditivos Plásticos (polietilenos) na Construção de Pavimento Intertravado Permeável “PAVERS”. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.8, n.5, p. 40788-40801. Acesso 10 fev. 2023.

LEITE, G. T. D.; PINHEIRO, R. Z. G.; PAMBOUKIAN, S. V. D. MONITORAMENTO DE ÁREAS DE RISCO COM A UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO. **Revista Mackenzie de Engenharia e Computação**, [S. l.], v. 19, n. 1, 2019. Disponível em: <https://editorarevistas.mackenzie.br/index.php/rmec/article/view/11000>. Acesso em: 15 jul. 2023.

LEMES, M. W.A. **Análise da estrutura e dos processos hidroerosivos superficiais de um Latossolo Amarelo: uso da técnica de Microtomografia Computadorizada de Raios X. 2023.**

LIMA DOS SANTOS, C.R; DA SILVA, G. M; DA SILVA SANTANA, K.C; VAZ LAFAYETTE, K.P; DA SILVA, S.R. Drenagem Urbana: Uma Análise de Vazão de Cheia para a Sub-Bacia do Rio Beberibe. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S. l.], v. 15, n. 4, p. 2104–2120, 2022. DOI: 10.26848/rbgf.v15.4.p2104-2120. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/252674>. Acesso em: 19 maio. 2024.

LIU, J.; BAI, Y.; SONG, Z.; KANUNGO, D. P.; WANG, Ying; BU, Fan; CHEN, Zhihao; SHI, Xiao. Stabilization of sand using different types of short fibers and organic polymer. **Construction and Building Materials**, vol. 253, p. 119164, 30 Aug. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119164>.

LOUZADA, N. S.; MALKO, J. A. C.; CASAGRANDE, M. D. T. Behavior of Clayey Soil Reinforced with Polyethylene Terephthalate. **Journal of Materials in Civil Engineering**, 104[Washington, D. C.], v. 31, n. 10, p. 04019218-1, 2019
Doi:[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0002863](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002863).

LUCARELLI, D. C. **Estudo do comportamento mecânico de solos reforçados com fibras de polietileno tereftalato (PET) de distribuição aleatória.** 2018.169 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2018.

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

MACEDO, E. S., SANDRE, L. H. **Mortes por deslizamentos no Brasil: 1988 a 2022.** Associação Brasileira de Geologia de Engenharia Ambiental- ABGE. Disponível em: <https://www.abge.org.br/>. Acesso 15 jan. 2023.

MAIA, E. S., AGUIAR, M. F. P., OLIVEIRA, F. H. L., Estudo de melhoramento de solo com utilização de resíduo de indústria de celulose, **Revista Tecnologia**, v. 35, n. 1 e 2, pp. 78-88, dez. 2014.

MAGALHÃES, J. S. L. A. **Estudo de estabilidade da encosta Alto do Padre Cícero no Município de Camaragibe-PE.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Pernambuco, Programa de pós graduação em Engenharia Civil, Recife, 2013

- MANTOVANI, B. **Mapeamento de risco a movimentos de massa e inundação em áreas urbanas do município de Camaragibe.** 2016. Dissertação (Mestrado Em Engenharia Civil)– Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.
- MAPARAGEM, A.S. Estudo da interação solo-fitas poliméricas para uso em terra armada em solos problemáticos em áreas agrícolas e de mineração artesanal (garimpo). **In: CONGRESSO LUSO-MOÇAMBICANO DE ENGENHARIA, 8., CONGRESSO DE ENGENHARIA DE MOÇAMBIQUE MAPUTO. 5., 2017. Anais[...].** Publ: INEGI/FEUP. 2017.
- MARANGONI, A. C.; MARANGONI, R. J.; DE LIMA, O. J. Tijolo ecológico fabricado com resíduos de pet. **Seven Editora**, 2023.
- MAZUMDER, Payal et al. Enhancement of soil physico-chemical properties post compost application: Optimization using Response Surface Methodology comprehending CentralComposite Design. **Journal of Environmental Management**, v. 289, p. 112461, 2021.
- MEENA, S.; MISHRA, B.; PIRALILOU, S. T. A. Hybrid Spatial Multi-Criteria Evaluation Method for Mapping Landslide Susceptible Areas in Kullu Valley, Himalayas. **Geosciences**, v. 9, n. 4, 156, 2019.
- MEIRELLES, E. O.; DOURADO, F.; COSTA, V. C. Análise Multicritério para mapeamento da suscetibilidade a movimentos de massa na bacia do rio Paquequer- RJ. **Geo Uerj**, n. 33, e26037, 2018.
- MELLO, P. F. **Influência da face na estabilidade de taludes em solo grampeado.** 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.
- MIRANDA, A. C. da S.; LIMA, A. M. M. de. Análise de Erosões Urbanas e o Risco associado as Voçorocas de Açailândia-MA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 2, abr. 2021.
- MOORE, D. M.; REYNOLDS, R. C. **X-ray diffraction and identification and analysis of clay minerals.** Oxford: Oxford University Press, 1989.
- MORAIS, A. D.; DOS SANTOS JR, O. F.; DE FREITAS NETO, O. Propriedades Geotécnicas de Sedimentos da Formação Barreiras nas Falésias de Barra da Tabatinga Litoral Oriental do Rio Grande do Norte/Brasil. **HOLOS**, [S. l.], v. 7, p. 1–20, 2020. DOI: 10.15628/holos.2020.9560. Disponível em: <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/9560>. Acesso em: 16 jul. 2023.
- NASCIMENTO, L. A.; SILVA, T. A.; LAFAYETTE, K. P. V.; SANTOS, M. J. P.; CAAVALCANTI, A. R. Urbanização desordenada e degradação ambiental associados a escorregamentos: Uma abordagem metodológica para análise temporal de ocupações subnormais. **CIÊNCIA E NATURA**, v. 42, p. e81, 2020.
- NASCIMENTO, E. C. **Avaliação das propriedades do agregado reciclado da construção civil para utilização em sistema de cobertura final de aterros sanitários.** 2019. Dissertação (Mestrado), Universidade de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2019.

NATÁRIO, G. (2017) “Obras de melhoramento e reforço de solos”. **Revista Geotecnia**, S/vol., No.139, pp. 77- 98.

NOGUEIRA, F.; PASSARELLI, S. H.; MOURA, R.; VARALLO, L. O emprego da carta geotécnica de aptidão à urbanização: Debate sobre o licenciamento do Centro Logístico Campo Grande, Santo André, SP. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 9, p.73741-73762, 2020.

ÖCÜL, M.; ŞIŞMAN, A. Landslide susceptibility analysis with multi criteria decision methods; a case study of Taşova. **Advanced GIS**, v.3, n.1, p. 14-21, 2023.

OLÍMPIO, J. L. S.; ZANELLA, M. E. Avaliação intermunicipal dos riscos de desastres naturais associados à dinâmica climática no estado do Ceará. **GEOUSP Espaço e Tempo (Online)**, [S. l.], v. 21, n. 1, p. 156-176, 2017. DOI: 10.11606/issn.2179-0892.geousp.2017.110719. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/geousp/article/view/110719>. Acesso em: 15 jul. 2023.

OLIVEIRA JÚNIOR, A. I. de; JUCÁ, J. F. T.; ALMEIDA, A. J. G. de A.; FERREIRA, R. P. de S.; BRANDÃO, F. J. R. Influência da Adição de Fibras Curtas de Coco Distribuídas Aleatoriamente na Curva Característica de Retenção de Água de um Solo Argiloso Compactado. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica**, [S. l.], v. 16, n. 1, p. 218–231, 2023. DOI: 10.22201/iingen.0718378xe.2023.16.1.82380. Disponível em: <https://revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/view/82380>. Acesso em: 5 jul. 2023.

OLIVEIRA, D. E.; AMARAL, C. M.; GIAROLA, I. B. S.; FERREIRA, C. de C. M. Variabilidade climática e as chuvas de janeiro de 2007: uma análise episódica na bacia hidrográfica do Rio Preto, Sudeste do Brasil. **Revista da ANPEGE**, [S. l.], 2023. DOI: 10.5418/ra2022.v18i37.10117. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/anpege/article/view/10117>. Acesso em: 24 abr. 2023.

OLIVEIRA, A. B.; BONFIM SOUSA, P.; DE OLIVEIRA ARAÚJO, R. Aspectos Teórico-metodológicos da Utilização do modelo GTP (Geossistema, Território, Paisagem) na Compreensão da Cadeia Produtiva de Celulose no Município de Imperatriz-Maranhão-Brasil. **Revista Contexto Geográfico**, [S. l.], v. 7, n. 14, p. 87–103, 2022. DOI: 10.28998/contegeo.v7i14.13637. Disponível em: <https://www.seer.ufal.br/index.php/contextogeografico/article/view/13637>. Acesso em: 14 jul. 2023.

OLIVEIRA, A. L. G.; MAGALHÃES, S. L. M.; FIORESE NETO, O.; PASQUALETTO, A.; BÁRRIOS, G. F. M. Urbanização de risco em frente de escarpa e encostas: caso de Primavera do Leste-MT. **Revista Brasileira de Desenvolvimento Regional, Blumenau, MT**, v. 2, p.197-219, 2015.

OLIVEIRA, Pedro. **Análise de provas de carga e confiabilidade para edifício comercial na Região Metropolitana do Recife**. Recife, 2013. Tese de mestrado UFPE. Disponível em: < <http://pedrocivil8.wixsite.com/pedro/downloads>>. Acesso em:01 nov. 2018.

PARMA, G. C. O RISCO AMBIENTAL AOS DESLIZAMENTOS DE TERRA. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, [S. l.], v. 12, n. 1, p. e18741, 2023. DOI: 10.59306/rgsa.v12e12023e18741. Disponível em: https://portaldeperiodicos.animaeducacao.com.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/18741. Acesso em: 13 maio. 2023.

PAZ, D. H. F., LAFAYETTE, K. P. V., de OLIVEIRA HOLANDA, M. J., SOBRAL, M. D. C. M., & de CASTRO COSTA, L. A. R. (2020). Assessment of environmental impact risks arising from the illegal dumping of construction waste in Brazil. **Environment, Development and Sustainability**, 22(3), 2289-2304. <https://doi.org/10.1007/s10668-018-0289-6>

PAZ, D. H. F.; VIEIRA, C. R.; LAFAYETTE, K. P. V.; SOBRAL, M. C. M. **Diagnóstico da geração de Resíduos da Construção Civil de obras da cidade do Recife – PE**. In: SANTOS, J. P. O.; SILVA, R. C. P.; MELLO, D. P.; EL-DEIR, S. G. (org.). Resíduos Sólidos: impactos socioeconômicos e ambientais. 1. ed. Recife: EDURFPE, 2018. E-book.

PAZ, D. H. F., & LAFAYETTE, K. P. V. (2016). Forecasting of construction and demolition waste in Brazil. **Waste Management & Research**, 34(8), 708-716, 2016. <https://doi.org/10.1177/0734242X16644680>.

PEDROSA, A. A. **Comportamento geomecânico de solo reforçado com resíduo da construção civil e fibras de polietileno tereftalato (PER)**. Dissertação (Mestrado) Universidade de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2021.

PEDROSA, Fábio. **Subsídios sedimentológicos e geomorfológicos ao zoneamento geoambiental da folha Recife (PE)**. São Paulo, 1995. Tese de mestrado USP. Disponível em . Acesso em 13 jan. 2022.

PEREIRA, P. B.; NUNES, H. K. B.; ARAÚJO, F. A. S. Análise multitemporal de uso, ocupação e cobertura da terra na zona Leste da cidade de Caxias/Maranhão/Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 14, n. 3, 2021.

PEREIRA, L. C.; ALMEIDA, A. S.; MONTEIRO, B. F.; LAMEIRA, W. J. M.; ASSUNÇÃO, S. P. Mapeamento de uso e cobertura de terra e análise da estrutura da paisagem na bacia do rio Uraim. **Caminhos de Geografia**, v. 21, n. 75, p. 225-239, 2020.

PESSOA NETO, A. G., VAZ LAFAYETTE, K. P., DA SILVA, F.G; DIAS, V.F. Método de Análise e Hierárquica (AHP) para determinar a suscetibilidade a movimentos de massa no bairro da Macaxeira. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 17, n. 1, 2023.

PESSOA NETO, A. G. **Mapeamento das áreas suscetíveis a inundações e alagamentos no município de Jaboatão dos Guararapes-PE**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil).Recife: UPE, Escola Politécnica, 2023.

PIEREZAN, J.; POSSAMAI PINHEIRO, L.; LÜBECK, A. Reaproveitamento do Entulho da Construção Civil. **Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão**, v. 4, n. 1, 15 mar. 2013.

PIMENTA, L. B.; BELTRÃO, N. E. S.; GEMAQUE, A. M. S.; TAVARES, P. A. Processo Analítico Hierárquico (AHP) em ambiente SIG: temáticas e aplicações voltadas à tomada de decisão utilizando critérios espaciais. **INTERAÇÕES**, v. 20, n. 2, p. 407-420, 2019.

PIRES, LF, BACCHI, OOS. Mudanças na estrutura do solo avaliada com uso de tomografia computadorizada. **Pesq Agropec Bras**.2010;45:391-400.

PIVETTA; C.P; VENDRUSCOLO, M.A. **Análise de solo compactado com resíduo de construção e demolição**. XXV Seminário de Iniciação Científica. Cerro largo, 2017.

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

PORTELA, M. F. A.; LAFAYETTE, K. P. V.; NASCIMENTO, E. C.; BEZERRA, J. S.; FERREIRA, S. R. M.; SANTOS, M. J. P. Avaliação da dispersividade e resistência à compressão simples de compósitos de solo, resíduos de construção e demolição e cal hidratada. **Research, Society and Development**, v. 10, p. e42210111959, 2021.

PREFEITURA DA CIDADE DO RECIFE. Disponível em: <http://www2.recife.pe.gov.br/pagina/caracterizacao-do-territorio>. Acesso em: 19 set. 2023.

PREFEITURA DA CIDADE DO RECIFE. **Lei Complementar nº 2 de 23 de abril de 2021. Institui o Plano Diretor do Município do Recife, revogando a Lei Municipal nº 17.511, de 29 de dezembro de 2008.** Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/plano-diretor-recife-pe>. Acesso em: 19 set. 2022.

RAFFO (IN MEMORIAM), J. G. da G. O Processo Analítico Hierárquico e seu uso na modelagem do espaço geográfico. **Revista do Departamento de Geografia, [S. l.]**, p. 26-37, 2012. DOI: 10.7154/RDG.2012.0112.0002. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/53840>. Acesso em: 11 abr. 2023.

RHODES, C. J. Plastic pollution and potential solutions. **Science progress**, v. 101, n. 3, p. 207-260, 2018. Doi: <https://doi.org/10.3184/003685018X15294876706211>.

RODRÍGUEZ, J. A. S., ZAMORA, J. J. A.; PÉREZ, S. P. M. Uso de los agregados PET en la elaboración del concreto: Revisión de la literatura. **Avances: Investigación En Ingeniería**, Bogotá, v.18, n.2. p. 1 – 12, 2021. Doi: <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.2.6942>.

RUIZ, E. F.; MOTA, G. M.; FORTEZA, A. L. **Solo reforçado com geogrelhas: Aplicações em obras de encontros de pontes e viadutos.** Disponível em: <http://igsbrasil.org.br/wp-content/uploads/2017/12/CCO-2012-Solo-reforçado-com-geogrelhas-aplicações-em-obras-de-encontros-de-pontes-e-viadutos.pdf>. Acesso em: 01 de Outubro. 2022.

SAATY, T. H. A scaling method form priorities in hierarquical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, v. 15, n. 3, p. 234-281, 1977.

SAATY, R. W. The Analytic Hierarchy Process - What it is and how it is used. **Mathematical Modelling**, v. 9, n. 3-5, p. 161-176, 1987.

SAATY, T. L. **Método de Análise Hierárquica.** São Paulo: Mcgraw-hill, 1991.

SAITO, S. M. et al. População urbana exposta aos riscos de deslizamentos, inundações e enxurradas no Brasil. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, [s.l.], v. 31, p.1-25, 29 nov. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.14393/SN-v31-2019-46320>. Acesso em: 06 set. 2022.

SCHMIDT, M. A. R.; BARBOSA, G. Uso de redes neurais artificiais na ponderação inicial da técnica AHP em análises de vulnerabilidade de bacias hidrográficas. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 22, n. 3, p. 511-525, 2016.

- SANTANA, J. K. R. de. **Aplicação do Modelo Hierárquico Analítico (AHP) na previsão das áreas de perigo a escorregamentos em Recife (PE)**. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2020.
- SANTANA, W.; PEREIRA, J.; PEREIRA, J.; VOLPATO, S.; BACK, A.; LADWIG, N. Suscetibilidade a escorregamentos na bacia hidrográfica do rio Cedro/SC. In: **Planejamento e Gestão Territorial: inovação, tecnologia e sustentabilidade** (LADWIG, N. I.; CAMPOS, J. B.). p. 337-359. 2020.
- SANTOS, I.S. **Análise das propriedades de um solo com adição de resíduos da construção civil e fibras de polipropileno**, 2023. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Pernambuco, Recife, 2023.
- SANTOS, M. J. P. dos; LAFAYETTE, K. P. V.; SILVA, T. A. da; PORTELA, M. F. de A.; BEZERRA, J. da S.; FERREIRA, S. R. de M.; NETO, M. Ma. C. Landscape Transformation: Temporal Evolution of the Erosion Process on a Hillside on the Island of Itamaracá / Brazil. **Technology, and Sciences (ASRJETS) American Scientific Research Journal for Engineering**, vol. 77, no. 1, p. 63–75, 2021.
- SANTOS, J.P.S. **Reforço de um solo erodível com resíduos de construção e fibras de coco babaçu**, 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Pernambuco, Recife, 2020.
- SANTOS, C.L dos; SILVA, O. G. da; VITAL, S.R. de O. Mapeamento de Áreas de Risco Associadas ao Carste em Área Urbana no Município de João Pessoa-PB. **Sociedade & Natureza**, v. 34, 2023. DOI: 10.14393/SN-v34-2022-63641. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sn/a/nXVRBLmTSbLPrVwVJxjH3SS/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 13 maio. 2023.
- SHERARD, J. L.; DUNNIGAN, L. P.; DECKER, R. S. Identification and nature of dispersive soils. ASCE, **Divisão Geotécnica**, Vol. 102, GT4, 1976.
- SANTOS, E. I.; ALENCAR, M. L. S.; SCHRAMM, V. B.; SANTOS, J. S.; NASCIMENTO, M. T. C. C. Uso de geotecnologias no estudo da degradação das terras da bacia do rio Sucuru, na Paraíba. **Ciência & Natura**, v. 42, n. 57, p. 15, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/article/view/33089/html>. Acesso em: 13 set. 2022.
- SANTOS, C.L., LISTO, F.L.R., SILVA, O.G., REIS, R.B. (2018). Análise metodológica de estudos referentes a eventos de movimentos de massa e erosão ocorridos na região Nordeste do Brasil. **Caderno de Geografia**, 28, p. 959-979.
- SANTOS, D. O. J.; FONTES, C. M. A.; LIMA, P. R. L. Uso de agregado miúdo reciclado em matrizes cimentícias para compósitos reforçados com fibras de sisal. **Revista Matéria, Rio de Janeiro**, v. 22, n. 1, p. e11801-e11814, 2017. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rmat/v22n1/1517-7076-rmat-22-01-e11801.pdf>. Acesso em: 09 out. 2022.
- SANTOS, H. G.; ZARONI, M. J. **Relação silte/argila. Brasília: EMBRAPA, 2019**. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONTAG01_56_2212200611552.html. Acesso em: 16 dez. 2019.

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

SCHLEE, M. B. Notas sobre a ocupação das encostas no maciço da Tijuca, no Rio de Janeiro. **Pós. Revista Do Programa De Pós-Graduação Em Arquitetura e Urbanismo DaFAUUSP**, São Paulo, v. 22, n. 38, p. 94-122, 2015.

SHEIKHMOHAMMADI, A.; MOHSENI, S. M.; KHODADADI, R.; SARDAR, M.; ABTAHI, M.; MAHDAVI, S.; KERAMATI, H.; DAHAGHIN, Z.; REZAEI, S.; ALMASIAN, M.; SARKHOSH, M.; FARAJI, M.; NAZARI, S. Application of graphene oxide modified with 8-hydroxyquinoline for the adsorption of Cr (VI) from wastewater: Optimization, kinetic, thermodynamic and equilibrium studies. **Journal of Molecular Liquids**, vol. 233, p. 75–88, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2017.02.101>.

SHUKLA, S.K. Fundamentals of FibreReinforced Soil Engineering, **Springer Nature Singapore Pte Ltd.**, pp.23-44, 2017.

SILVA, F. G. A. **Avaliação das propriedades de um solo erodível com a utilização de resíduos da construção civil e fibra de bambu.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Pernambuco, Recife, 2023.

SILVA, D. B. da; GUEDES, R. de M. A. Ocupação Desordenada em Áreas de Proteção Permanente e a Relação com o Desenvolvimento Sustentável de Grandes Centros Urbanos. **Scientific Journal ANAP**, [S. l.], v. 1, n. 1, 2023. Disponível em: <https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/anap/article/view/3449>. Acesso em: 25 abr. 2023.

SILVA, T. A.; LAFAYETTE, K. P. V.; SILVA, L. C. L.; SANTOS, M. J. P.; BEZERRA, J. S. Optimization of the dosage of sustainable materials for the stabilization of an erosive soil. **European Academic Research**, vol. 9, no. 6, p. 3766-3788, 2021.

SILVA, L. M. S. **Proposta de estabilização de trecho da encosta ocupada pela Comunidade Santa Clara, João Pessoa-PB.** Trabalho de Conclusão de Curso. Engenharia Civil. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia. Cajazeiras, 2019.

SILVA, T. E. F. **Análise da estabilidade da encosta do Miradouro de São Pedro de Alcântara**, Lisboa. 2020. 81 p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2020.

SILVA, C. F. A. da; BARRETO, E. P.; SHULLER, C. A. B.; FERREIRA, B.; MELO, W. D. A. Evolução multi-temporal do uso e ocupação do solo no entorno do campus da Universidade Federal Rural de Pernambuco Zona Oeste da Cidade do Recife. **Revista Brasileira de Geografia Física**, vol. 9, no. 2, p. 319–333, 2016. DOI: 10.26848/rbgf.v9.2.p319-333.

SILVA, A.C.; FUCALE, S.; FERREIRA, S.R.M. Efeito da adição de resíduos da construção e demolição (RCD) nas propriedades hidromecânicas de um solo arenoargiloso. **Matéria (Rio J.)**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 2, e12355, 2019.

SILVA, C. A.; NUNES, F. P. Mapeamento de vulnerabilidade ambiental utilizando o métodoAHP: uma análise integrada para suporte à decisão no município de Pacoti/CE. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, INPE, p. 5435-5442, 2009.

SILVEIRA, M. R. **Efeito da inclusão de tiras poliméricas de polietileno tereftalato e da adição de cimento na resistência mecânica de solo arenoso laterítico**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2019.

SILVEIRA, M.V.; CASAGRANDE, M.D.T. Effects of Degradation of Vegetal Fibers on the Mechanical Behavior of Reinforced Sand.

Geotechnical and Geological Engineering, v. 39, n. 5, p. 3875–3887, 2021.

SIMÕES, R. C. **Efeitos da Paisagem (“Landscape” e “Riverscape”) na Estrutura de Comunidades de Macroalgas de Riachos Subtropicais**. 2024. Dissertação de Mestrado.

SOUZA, G. da S. de . .; JUVENCIO, S. de F. .; NASCIMENTO, J. O. do .; PIRES, R. C. S. . Reutilização de Resíduos de Construção e Demolição em Obras de Construção Civil. **Epitaya E-books**, [S. l.], v. 1, n. 32, p. 132-144, 2023. DOI: 10.47879/ed.ep.2023724p132. Disponível em: <https://portal.epitaya.com.br/index.php/ebooks/article/view/727>. Acesso em: 4 jul. 2023.

SOUZA, J.M.S.R de. **Avaliação dos Compósitos de Resíduo de Marmoraria e de Construção Civil para Fabricação de Tijolos de Solo Cimento**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Pernambuco, Recife, 2022.

SOUZA, W; TOFFOLI, C. M.; MUTZENBERG, D.; CASAGRANDE, M. D. T. Variable Significance Determination Utilizing Extended Chaid Method in Fiber Improvement of Fine Soils. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, v. 148, p. 2022.

SOUZA, J. R. G. **Avaliação do Comprimento de Massa Deslocada em Deslizamentos em Função das Características Geológico-Geotécnicas e Geométricas das Encostas. Estudo de Caso: Estrada de Ferro Vitória-Minas (EFVM)**. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, p. 151. 2019. Disponível em: <http://www.repositorio.ufop.br/jspui/handle/123456789/11823>. Acesso em: 06 set. 2022.

SOUZA, A. P. L. **Estudos geotécnicos e de estabilidade de taludes da encosta do Alto do Padre Cícero no Município de Camaragibe-PE**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Pernambuco, Pós-graduação em Engenharia Civil, Recife, 2014.

SOUZA, J. M de.; RUDNICK, R. C.; LUKIANTCHUKI, J. A. Avaliação da incorporação de resíduos de construção civil (RCC) na estabilização de misturas de solo-cimento. **Ambiente Construído**, v. 20, n. 4, p. 261-280, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1590/s1678-8621202000040047>.

SOUZA NETO, D. P. de. **Estudos geotécnicos de um aterro de solos da formação barreiras na Região Metropolitana do Recife**. 2016. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

SPOSTO, R.M. Os resíduos da construção: problema ou solução? Espaço Acadêmico, v.4, n.61, jun. 2006. Resíduos de Construção e Demolição: Aspectos e Diretrizes, 2017. Henrique Teixeira Godoi de Barros. Disponível em: http://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/400/1/MONOGRAFIA_Residuos_Constru%C3%A7%C3%A3oDemoli%C3%A7%C3%A3o.pdf. Acesso em: 14 mar. 2023.

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.

TEDESCO, A. M.; OLIVEIRA, G. A.; TROJAN, F. Avaliação da vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas por meio dos métodos AHP e TOPSIS. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 26, n. 3, p. 401-407, 2021.

TOMINAGA, L. K. 2007. 240 f. **Avaliação de Metodologias de Análise de Risco a Escorregamentos: Aplicação de um Ensaio em Ubatuba, SP**. Tese (Doutorado em Ciências – Geografia Física) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

TORRES, F. S. M.; PFALTZGRAFF, P. A. S. **Geodiversidade do estado de Pernambuco**. Recife: CPRM, 2014. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/16771>. Acesso em: 05 nov. 2022.

VERDE, V.G.R.V; SANTOS, A.C. Riscos Geológicos Urbanos NOS MORROS DA CIDADE DE RECIFE–PERNAMBUCO. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 36, n. 3, 2019. <https://doi.org/10.51359/2238-6211.2019.241288>.

VERAS, G. R. M. **Análise da evolução espacial e temporal da morfologia urbana da região administrativa de Vicente Pires e a influência da ação antrópica nos processos de escoamento superficial**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Especialização em Geoprocessamento Ambiental, Universidade de Brasília. Brasília, p. 31 2018. Disponível em: <https://bdm.unb.br/handle/10483/22149>. Acesso em: 06 set. 2022.

VIEIRA, C. R.; ROCHA, J. H. A. ; LAFAYETTE, K. P. V. .; SILVA, D. M. da . Análise da Geração dos Resíduos da Construção e Demolição nos Canteiros de Obra da Cidade do Recife-PE. **RPER**, [S. l.], n. 59, p. 153–169, 2021. DOI: 10.59072/rper.vi59.99. Disponível em: <https://www.review-rper.com/index.php/rper/article/view/99>. Acesso em: 15 jul. 2023.

VOJTEKOVÁ, J.; VOJTEK, M. Assessment of landslide susceptibility at a local spatial scale applying the multi-criteria analysis and GIS: a case study from Slovakia. **Geomatics, Natural Hazards And Risk**, v. 11, n. 1, p. 131-148, 2020.

VOLPI, T.C. **Sistema gtp na geografia brasileira: realizações e desafios da proposta bertrandiana**. Anais do XV ENANPEGE. Campina Grande: Realize Editora, 2023. Disponível em: <<https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/93972>>. Acesso em: 21/02/2024.

XAVIER, J. P. de S.; DE SANTANA, J. K. R.; BISPO, C. de O.; LISTO, F. de L. R. Metodologias de Identificação de Risco a Escorregamentos de Terra Associadas ao Índice de Vulnerabilidade Social (IVS), Aplicados ao Município do Recife. **Ciência & Trópico**, [S. l.], v. 43, n. 1, 2019. DOI: 10.33148/CeTropico-v.43n.1(2019) 1833. Disponível em: <https://periodicos.fundaj.gov.br/CIC/article/view/1833>. Acesso em: 15 jul. 2023.

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**, [Amsterdã], v. 232, p. 179-187, 2019.

WANG, W.; CHENG, Y.; TAN, G. Design Optimization of SBS-modified asphalt mixture reinforced with eco-friendly basalt fiber based on response surface methodology. **Materials**, v. 11, n. 8, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ma11081311>. Acesso em: 03 out 2023.

WANG, H.; DEMBSEY, N. A.; MEACHAM, B. J.; LIU, S.; SIMEONI, A. Comparison of sensitivity matrix method, power function-based response surface method, and artificial neural network in the analysis of building fire egress performance. **Journal of Building**

Engineering, v. 43, 102860, 2021. Disponível em:
<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102860>. Acesso em: 14 out 2023.

WOUATONG, A. S. L.; DJUKEM, W. D. L.; NGAPGUE, F.; KATTE, V.; BEYALA, V. K.K. Influence of Random Inclusion of Synthetic Wicks Fibers of Hair on the Behavior of Clayey Soils. **Geotechnical and Geological Engineering**, [s.l.], v. 35, n. 6, p. 2637-2646, may/jun. 2017. Doi: 10.1007/s10706-017-0267-z.

WU, L.; WEI, Q.; LIU, J.; SONG, Z.; KANUNGO, D.P.; BAI, Y.; BU, F. Sisal fiber-polymer-treated sand mechanical properties in triaxial test. **Environmental and Engineering Geoscience**, v. 66, n. 1, p. 227–242, 2020.

ZABOTTO, A. R. Estudos sobre impactos ambientais: Uma abordagem contemporânea. FEPAF. **Botucatu-SP: FEPAF**, 2019. 70 p. Disponível em:
<https://biblioteca.uniscd.edu.mz/bitstream/123456789/1375/1/Estudos%20de%20Impactos-Ambientais.pdf>. Acesso em: 06 set. 2022.

ZHAO, Y.; XIAO, Z.; FAN, C.; SHEN, W.; WANG, Q.; LIU, P. Comparative mechanical behaviors of four fiber-reinforced sand cemented by microbially induced carbonate precipitation. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, vol. 79, no. 6, p. 3075–3086, 1 Aug. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10064-020-01756-4>.

ZHOU L., LIU Y., LU J., ZHOU W., WANG H. Influence of recycled concrete powder (RCP) and recycled brick powder (RBP) on the physical/mechanical properties and durability of raw soil. **Coatings**. vol. 11, no. 12, p. 1475, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/coatings11121475>