



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO  
CENTRO DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS  
DEPARTAMENTO DE HISTÓRIA E GEOGRAFIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA, NATUREZA E DINÂMICA DO  
ESPAÇO – PPGeo

WALEFE LOPES DA CRUZ

**ANÁLISE DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL NO ALTO CURSO DA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO ANIL EM SÃO LUÍS - MARANHÃO**

DINÂMICA DA NATUREZA E CONSERVAÇÃO

**São Luís – MA**

**2022**

WALEFE LOPES DA CRUZ

**ANÁLISE DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL NO ALTO CURSO DA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO ANIL EM SÃO LUÍS - MARANHÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço (PPGeo) da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA) como requisito para obtenção do título de Mestre em Geografia.

**Linha de pesquisa:** Dinâmica da Natureza e Conservação

**Orientadora:** Profa. Dra. Quésia Duarte da Silva

São Luís - MA

2022

Cruz, Walefe Lopes da.

Análise do escoamento superficial no alto curso da bacia hidrográfica do Rio Anil em São Luís - MA / Walefe Lopes da Cruz. – São Luís, 2022

195 f

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço, Universidade Estadual do Maranhão, 2022.

Orientadora: Profa. Dra. Quésia Duarte da Silva.

1.Escoamento superficial. 2.Teste de infiltração. 3.Impermeabilização.  
I.Título.

CDU: 556.3(812.1)

**WALE FELOPES DA CRUZ**

**ANÁLISE DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL NO ALTO CURSO DA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO ANIL EM SÃO LUÍS - MARANHÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço (PPGeo) da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA) como requisito para obtenção do título de Mestre em Geografia.

Em, 11/07/2022

**BANCA EXAMINADORA**



Documento assinado digitalmente

CLAUDINEI TABORDA DA SILVEIRA

Data: 13/07/2022 09:37:43-0300

Verifique em <https://verificador.iti.br>

**Dr. (a) CLAUDINEI TABORDA DA SILVEIRA, UFPR**

Examinador(a) Externo à Instituição

  
**Dr. (a) JOSÉ FERNANDO RODRIGUES BEZERRA, UEMA**

Examinador(a) Interno

  
**Dr. (a) QUÉSIA DUARTE DA SILVA, UEMA**

Presidente(a)

  
**WALEFE LOPES DA CRUZ**

Mestrando(a)

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Deus vivo de Israel por todo o seu amor, bondade e por seu sacrifício na cruz do calvário para nos salvar.

Aos meus pais, Claudice Oliveira Lopes e Antonio Francisco Carvalho da Cruz, por tudo que me proporcionaram, por seus ensinamentos, por todo o seu amor incondicional e por terem sempre me incentivado ao estudo, e por todo o apoio não só na minha jornada acadêmica, mas também na vida.

Aos meus sobrinhos, Anthony Davi Lopes da Silva, Leandro Lucas Lopes da Cruz e Rebecca Altina Lopes da Silva, por terem ensinado o verdadeiro significado do amor em seu mais puro sentido da vida.

A Rafaela Cristina Araújo dos Santos, por todo seu apoio e incentivo nas horas difíceis e por ser uma companheira compreensível e amável.

As minhas irmãs, Jennifer Lopes da Cruz e Geniffan Lopes da Cruz As, por sempre serem companheiras e pela proteção.

Aos meus avós, Florêncio Gomes Lopes e Maria Oliveira Lopes (*in memoriam*), por terem me estendido a mão quando eu mais precisei, por terem me dado colo quando me faltou.

A minha querida amiga, Delony de Queiroz Ribeiro, por ser tão companheira e pelos conselhos nas horas difíceis.

Agradeço a minha querida professora e orientadora, Quésia Duarte da Silva, por todos os ensinamentos e conselhos ao decorrer da vida acadêmica.

A Universidade Estadual do Maranhão - UEMA, ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço-PPgeo e todos os professores do programa que contribuíram de forma significativa para meu desenvolvimento quanto pesquisador.

Aos colegas de curso, em especial ao Euclides, Weslen, Francisco e Ricardo pelo apoio para realização da pesquisa. À querida secretária do Programa, Nana Alves pelos conselhos e ajuda.

A Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão - FAPEMA, por ter disponibilizado uma bolsa para o desenvolvimento da pesquisa.

E por fim, a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para quem eu me tornei hoje.

*“É muito melhor lançar-se em busca de conquistas grandiosas, mesmo expondo-se ao fracasso, do que alinhar-se com pobres de espírito, que nem gozam muito nem sofrem muito, porque vivem numa penumbra cinzenta, onde não conhecem nem vitória, nem a derrota.”*  
(THEODORE ROOSEVELT).

## RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo analisar o escoamento superficial no alto curso da bacia hidrográfica do rio Anil, localizada na cidade de São Luís/MA, com área de 9,07 km<sup>2</sup>. Os objetivos específicos foram: avaliar o uso e cobertura da terra; caracterizar fisiograficamente o alto curso da bacia; identificar o *Curve Number* da área através da análise de dados fisiográficos e climatológicos da área; identificar o escoamento superficial da área; e comparar e validar esses dados através de testes de infiltração. Para alcance destes objetivos foram realizadas duas etapas de pesquisa, a saber, trabalho de gabinete e trabalho de campo. Na primeira etapa, foram realizadas atividades de planejamento da pesquisa, elaboração dos mapas, análise bibliográfica e escrita do texto. Na segunda etapa foram realizados trabalhos de campo para conhecer a área, fazer os registros fotográficos e realizar os testes de infiltração. Após essa etapa, voltando à etapa de gabinete, foram elaborados gráficos dos dados obtidos com os testes de infiltração e feita a análise estatística dos dados gerados com os testes. Foram realizados 40 testes para obter os valores de infiltração acumulada, sendo estes utilizados como potencial de armazenamento de água no solo (S). Foi empregada a técnica *Curve Number (CN)*, sendo realizada a estimativa de escoamento superficial para o alto curso com a técnica supracitada e com os testes de infiltração. Os dados indicaram que as taxas de escoamento superficial são menores do que as identificadas com o teste de infiltração nas áreas vegetadas e com solo exposto. Os valores obtidos com os testes de infiltração variam de 24,2mm à 89,89mm para grupo hidrológico B nas áreas vegetadas e de 0 a 121,88mm nas áreas de solo exposto. Os valores de escoamento superficial nas mesmas áreas vegetadas e com solo exposto obtidos com a técnica CN foram, respectivamente, 42,45mm e 116mm. Em relação ao tipo hidrológico D, as taxas identificadas foram de 2,55mm à 74,33mm para área vegetada e de 12,48mm à 100,8mm para áreas com solo exposto. A partir da técnica CN, os dados gerados para o mesmo tipo hidrológico D foram de 77,22mm e 107,7mm respectivamente. Os testes com maiores taxas de escoamento superficial geradas foram, respectivamente, 14, 17, 20, 29 e 40 sendo estes localizados em áreas com solo exposto com CN entre 78 à 95, com valores maiores que 100mm para a precipitação de 139,4mm. A análise estatística realizada através da Matriz de Correlação de Spearman indicou que há uma correlação positiva muito fraca entre os dados gerados de escoamento superficial pela técnica CN e os testes de infiltração realizados nas áreas vegetadas e com solo exposto, sendo gerado um valor de 0,037.

**Palavra-chave:** Escoamento superficial, teste de infiltração e impermeabilização.

## ABSTRACT

The present work aimed to analyze the surface runoff in the upper course of the Anil river basin, located in the city of São Luís/MA, with an area of 9.07 km<sup>2</sup>. The specific objectives were: to assess land use and land cover; to physiographically characterize the upper course of the basin; identify the Curve Number of the area through the analysis of physiographic and climatological data of the area; identify the surface runoff of the area; and compare and validate this data through infiltration tests. To achieve these objectives, two research stages were carried out, namely, desk work and field work. In the first stage, activities were carried out for research planning, elaboration of maps, bibliographic analysis and writing of the text. In the second stage, fieldwork was carried out to get to know the area, take photographic records and carry out infiltration tests. After this stage, returning to the cabinet stage, graphs of the data obtained from the infiltration tests were prepared and the statistical analysis of the data generated with the tests was performed. 40 tests were carried out to obtain the values of accumulated infiltration, which were used as potential for water storage in the soil (S). The Curve Number (CN) technique was used, and surface runoff was estimated for the upper course with the aforementioned technique and infiltration tests. The data indicated that the runoff rates are lower than those identified with the infiltration test in vegetated areas and with exposed soil. The values obtained with the infiltration tests range from 24.2mm to 89.89mm for hydrological group B in vegetated areas and from 0 to 121.88mm in areas of exposed soil. The values of surface runoff in the same vegetated areas and with exposed soil obtained with the CN technique were, respectively, 42.45mm and 116mm. Regarding hydrological type D, the rates identified were from 2.55mm to 74.33mm for vegetated area and from 12.48mm to 100.8mm for areas with exposed soil. From the CN technique, the data generated for the same hydrological type D were 77.22mm and 107.7mm respectively. The tests with the highest runoff rates generated were respectively 14, 17, 20, 29 and 40, which were located in areas with exposed soil with CN ranging from 78 to 95, obtaining values greater than 100mm for precipitation of 139.4mm. The statistical analysis performed using the Spearman Correlation Matrix indicated that there is a very weak positive correlation between the surface runoff data generated by the CN technique and the infiltration tests carried out in vegetated areas and with exposed soil, generating a value of 0.037.

**Keyword:** Runoff, infiltration test and waterproofing.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Ancoradouro na foz do rio Anil em 1908.....	28
Figura 2 - Fábrica de Tecidos do Rio Anil-1980.....	32
<b>Figura 3</b> - Porto do Anil em 1908 - Próximo a fábrica de tecidos .....	32
<b>Figura 4</b> - Estrada do Anil 1908 .....	33
<b>Figura 5</b> - Ponte José Sarney (Ponte do São Francisco) - São Luís/MA.....	35
<b>Figura 6</b> - Avenida IV Centenário - São Luís/Maranhão .....	37
<b>Figura 7</b> - Superfícies vertentes e rede de drenagem.....	39
<b>Figura 8</b> - Ciclo Hidrológico da Terra.....	40
<b>Figura 9</b> - Ilustração do efeito da urbanização sobre o ciclo hidrológico (os percentuais se referem à parcela da precipitação que “segue” cada uma das fases do ciclo).....	42
<b>Figura 10</b> - Perfil esquemático de enchente, inundação e alagamento.....	45
<b>Figura 11</b> - Processo de escoamento .....	47
<b>Figura 12</b> - Principais “direções” do total precipitado que atinge o solo .....	48
<b>Figura 13</b> - Solução da equação de escoamento .....	52
<b>Figura 14</b> - Fluxograma metodológico .....	54
<b>Figura 15</b> - Unidades taxonômicas do relevo .....	57
<b>Figura 16</b> - Classes de forma de terreno .....	58
<b>Figura 17</b> - Rampa de cor do mapa de hipsometria.....	59
<b>Figura 18</b> -Rampa de cor do mapa de declividade .....	60
<b>Figura 19</b> - Cores utilizadas para a classificação do uso .....	61
<b>Figura 20</b> - Rampa de cor do mapa de CN .....	65
<b>Figura 21</b> -Rampa de cor do mapa de escoamento superficial convencional.....	68
<b>Figura 22</b> - Rampa de cor do mapa de escoamento superficial com testes de infiltração .....	70
<b>Figura 23</b> - Valores da correlação .....	71
<b>Figura 23</b> - Elaboração da matriz de correlação Jamovi .....	74
<b>Figura 24</b> - Matriz de correlação .....	74
<b>Figura 26</b> – Infiltrômetro .....	76
<b>Figura 26</b> - Áreas do relevo no alto curso do rio Anil- São Luís/ MA.....	85
<b>Figura 28</b> - Situação atual da drenagem do alto curso do rio Anil- São Luís.....	94
<b>Figura 29</b> - Tipos de uso e cobertura da terra no alto curso do rio Anil- São Luís .....	98

<b>Figura 30</b> - Interpretação do coeficiente de correlação .....	179
<b>Figura 31</b> - Matriz de Correlação .....	180

## LISTA DE FOTOS

<b>Foto 1</b> - Teste de infiltração no alto curso do rio Anil- São Luís / MA .....	76
<b>Foto 2</b> - Local do teste de Infiltração 1 no alto curso do anil-São Luís –MA.....	106
<b>Foto 3</b> - Local do teste de infiltração 3 – Alto curso do rio Anil- São Luís – MA .....	108
<b>Foto 4</b> - Local do teste de infiltração 4 – Alto curso do rio Anil- São Luís – MA .....	109
<b>Foto 5</b> - Local do teste de infiltração 5 – Alto curso do rio Anil- São Luís – MA .....	110
<b>Foto 6</b> - Local do teste de infiltração 6 – Alto curso do rio Anil- São Luís – MA .....	111
<b>Foto 7</b> - Local do teste de infiltração 7 – Alto curso do rio Anil- São Luís – MA .....	112
<b>Foto 8</b> - Local do teste de infiltração 8 – Alto curso do rio Anil - São Luís – MA .....	113
<b>Foto 9</b> - Local do teste de infiltração 9– Alto curso do rio Anil - São Luís – MA .....	114
<b>Foto 10</b> - Local do teste de infiltração 10 – Alto curso do rio Anil - São Luís – MA .....	115
<b>Foto 11</b> - Local do teste de infiltração 11 – Alto curso do rio Anil - São Luís – MA .....	116
<b>Foto 12</b> - Local do teste de infiltração 12 – Alto curso do rio Anil - São Luís – MA .....	117
<b>Foto 13</b> - Local do teste de infiltração 13 – Alto curso do rio Anil - São Luís – MA .....	118
<b>Foto 14</b> - Local do teste de infiltração 14 – Alto curso do rio Anil - São Luís – MA .....	119
<b>Foto 15</b> - Local do teste de infiltração 15 – Alto curso do rio Anil - São Luís – MA .....	120
<b>Foto 16</b> - Local do teste de infiltração 16 – Alto curso do rio Anil - São Luís – MA .....	121
<b>Foto 17</b> - Local do teste de infiltração 17 – Alto curso do rio Anil - São Luís – MA .....	122
<b>Foto 18</b> - Local do teste de infiltração 19 – Alto curso do rio Anil - São Luís – MA .....	124
<b>Foto 19</b> - Local do teste de infiltração 20 – Alto curso do rio Anil - São Luís – MA .....	125
<b>Foto 20</b> - Local do teste de infiltração 21 – Alto curso do rio Anil - São Luís – MA .....	126
<b>Foto 21</b> - Local do teste de infiltração 22 – Alto curso do rio Anil - São Luís – MA .....	127
<b>Foto 22</b> - Local do teste de infiltração 23 – Alto curso do rio Anil - São Luís – MA .....	128
<b>Foto 23</b> - Local do teste de infiltração 24 – Alto curso do rio Anil - São Luís – MA .....	129
<b>Foto 24</b> - Local do teste de infiltração 25 – Alto curso do rio Anil - São Luís – MA .....	130
<b>Foto 25</b> - Local do teste de infiltração 26 – Alto curso do rio Anil - São Luís – MA .....	131
<b>Foto 26</b> - Local do teste de infiltração 27 – Alto curso do rio Anil - São Luís – MA .....	132
<b>Foto 27</b> - Local do teste de infiltração 28 – Alto curso do rio Anil - São Luís – MA .....	133
<b>Foto 28</b> - Local do teste de infiltração 29 – Alto curso do rio Anil - São Luís – MA .....	134
<b>Foto 29</b> -Local do teste de infiltração 30 – Alto curso do rio Anil - São Luís – MA .....	135
<b>Foto 30</b> - Local do teste de infiltração 31 – Alto curso do rio Anil - São Luís – MA .....	136
<b>Foto 31</b> - Local do teste de infiltração 32 – Alto curso do rio Anil - São Luís – MA .....	137

<b>Foto 32</b> - Local do teste de infiltração 33 – Alto curso do rio Anil - São Luís – MA .....	138
<b>Foto 33</b> - Local do teste de infiltração 34 – Alto curso do rio Anil - São Luís – MA .....	139
<b>Foto 34</b> - Local do teste de infiltração 35 – Alto curso do rio Anil - São Luís – MA .....	140
<b>Foto 35</b> - Local do teste de infiltração 36 – Alto curso do rio Anil - São Luís – MA .....	141
<b>Foto 36</b> - Local do teste de infiltração 37 – Alto curso do rio Anil - São Luís – MA .....	142
<b>Foto 37</b> - Local do teste de infiltração 38 – Alto curso do rio Anil - São Luís – MA .....	143
<b>Foto 38</b> - Local do teste de infiltração 39 – Alto curso do rio Anil - São Luís – MA .....	144
<b>Foto 39</b> - Local do teste de infiltração 40 – Alto curso do rio Anil - São Luís – MA .....	145

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1</b> - Comparativo de precipitação acumulada mm- São Luís -MA – 1931 a 1990.....	79
<b>Gráfico 2</b> - Comparativo temperatura média (°C) - São Luís- MA-1931 a 1990.....	79
<b>Gráfico 3</b> - Precipitação Total- Ilha do Maranhão – MA- 2000 a 2021 em mm .....	80
<b>Gráfico 4</b> - Infiltração acumulada no Teste 1 .....	107
<b>Gráfico 4</b> - Infiltração acumulada no Teste 2 .....	107
<b>Gráfico 6</b> - Infiltração acumulada no Teste 3 .....	108
<b>Gráfico 5</b> - Infiltração acumulada no Teste 4 .....	109
<b>Gráfico 8</b> - Infiltração acumulada no Teste 5 .....	110
<b>Gráfico 6</b> - Infiltração acumulada no Teste 6 .....	111
<b>Gráfico 10</b> - Infiltração acumulada no Teste 7 .....	112
<b>Gráfico 11</b> - Infiltração acumulada no Teste 8 .....	113
<b>Gráfico 12</b> - Infiltração acumulada no Teste 9 .....	114
<b>Gráfico 13</b> - Infiltração acumulada no Teste 10 .....	115
<b>Gráfico 14</b> - Infiltração acumulada no Teste 11 .....	116
<b>Gráfico 15</b> - Infiltração acumulada no Teste 12 .....	117
<b>Gráfico 16</b> - Infiltração acumulada no Teste 13 .....	118
<b>Gráfico 17</b> - Infiltração acumulada no Teste 14 .....	119
<b>Gráfico 18</b> - Infiltração acumulada no Teste 15 .....	120
<b>Gráfico 19</b> - Infiltração acumulada no Teste 16 .....	121
<b>Gráfico 20</b> - Infiltração acumulada no Teste 17 .....	123
<b>Gráfico 21</b> - Infiltração acumulada no Teste 18 .....	123
<b>Gráfico 22</b> - Infiltração acumulada no Teste 19 .....	124
<b>Gráfico 23</b> - Infiltração acumulada no Teste 20 .....	125
<b>Gráfico 24</b> - Infiltração acumulada no Teste 21 .....	126
<b>Gráfico 25</b> - Infiltração acumulada no Teste 22 .....	127
<b>Gráfico 26</b> - Infiltração acumulada no Teste 23 .....	128
<b>Gráfico 27</b> - Infiltração acumulada no Teste 24 .....	129
<b>Gráfico 28</b> - Infiltração acumulada no Teste 25 .....	130
<b>Gráfico 29</b> - Infiltração acumulada no Teste 26 .....	131
<b>Gráfico 30</b> - Infiltração acumulada no Teste 27 .....	132
<b>Gráfico 31</b> - Infiltração acumulada no Teste 28 .....	133

<b>Gráfico 32</b> - Infiltração acumulada no Teste 29 .....	134
<b>Gráfico 33</b> - Infiltração acumulada no Teste 30 .....	135
<b>Gráfico 34</b> - Infiltração acumulada no Teste 31 .....	136
<b>Gráfico 35</b> - Infiltração acumulada no Teste 32 .....	137
<b>Gráfico 36</b> - Infiltração acumulada no Teste 33 .....	138
<b>Gráfico 37</b> - Infiltração acumulada no Teste 34 .....	139
<b>Gráfico 38</b> - Infiltração acumulada no Teste 35 .....	140
<b>Gráfico 39</b> - Infiltração acumulada no Teste 36 .....	141
<b>Gráfico 40</b> - Infiltração acumulada no Teste 37 .....	142
<b>Gráfico 41</b> - Infiltração acumulada no Teste 38 .....	143
<b>Gráfico 42</b> - Infiltração acumulada no Teste 39 .....	144
<b>Gráfico 43</b> - Infiltração acumulada no Teste 40 .....	145
<b>Gráfico 44</b> - Infiltração acumulada nos testes de infiltração realizados no alto curso da bacia do rio Anil- São Luís/ MA.....	154
<b>Gráfico 45</b> - Valores de escoamento superficial com os testes de infiltração no alto curso do rio Anil - São Luís/MA .....	171
<b>Gráfico 46</b> - Comparação do escoamento superficial para área vegetada com SCS e os testes de Infiltração para o grupo hidrológico – B, no alto curso da bacia do rio Anil-São Luís/MA .....	173
<b>Gráfico 47</b> - Comparação do escoamento superficial para área de solo exposto com SCS e os testes de Infiltração para o grupo hidrológico – B, no alto curso da bacia do rio Anil-São Luís/MA .....	174
<b>Gráfico 48</b> - Comparação do escoamento superficial para área vegetada com SCS e os testes de Infiltração para o grupo hidrológico - D, no alto curso da bacia do rio Anil-São Luís/MA .....	175
<b>Gráfico 49</b> - Comparação do escoamento superficial para área de solo exposto com SCS e os testes de Infiltração para o grupo hidrológico - D, no alto curso da bacia do rio Anil-São Luís/MA .....	175

## LISTA DE MAPAS

<b>Mapa 1</b> - Mapa de Localização do alto curso da bacia hidrográfica do rio Anil- São Luís/ MA .....	24
<b>Mapa 2</b> - Bairros do alto curso da bacia hidrográfica o rio Anil - São Luís- MA.....	38
<b>Mapa 3</b> - Unidades Litoestratigráficas do alto curso do rio Anil- São Luís- MA .....	82
<b>Mapa 4</b> – Compartimento do relevo no alto curso da bacia hidrográfica do rio Anil-São Luís/MA .....	84
<b>Mapa 5</b> - Tipos de vertentes no alto curso da bacia hidrográfica do rio Anil-São Luís/MA...	86
<b>Mapa 6</b> - Hipsometria do alto curso da bacia hidrográfica do rio Anil-São Luís / MA .....	89
<b>Mapa 7</b> - Declividade no alto curso da bacia hidrográfica do rio Anil-São Luís / MA.....	90
<b>Mapa 8</b> - Solos do alto curso da bacia hidrográfica do rio Anil-São Luís / MA .....	93
<b>Mapa 9</b> - Drenagem no alto curso da bacia do rio Anil-São Luís / MA.....	95
<b>Mapa 10</b> - Uso e cobertura da terra do alto curso da bacia hidrográfica do rio Anil de 2021- São Luís/MA .....	100
<b>Mapa 11</b> - Mapa de área permeáveis e impermeáveis do alto curso da bacia hidrográfica do rio Anil de 2021- São Luís/MA .....	101
<b>Mapa 12</b> - Classes de Curve Number do alto curso da bacia hidrográfica do rio Anil-São Luís/MA .....	104
<b>Mapa 13</b> - Escoamento superficial no alto curso da bacia hidrográfica do rio anil para precipitação 139,4 mm/dia- São Luís/ MA .....	161
<b>Mapa 14</b> - Escoamento superficial com os testes de infiltração no alto curso da bacia hidrográfica do rio Anil - São Luís / MA .....	172
<b>Mapa 15</b> - Comparação do escoamento gerado com a técnica convencional e com os testes de infiltração no alto curso do rio Anil- São Luís/MA .....	177

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> - Urbanização da Cidade de São Luís / MA.....	29
<b>Quadro 1</b> - Conceito de enchente, inundação, enxurrada e alagamentos.....	44
<b>Quadro 2</b> - Quadro de classificação do uso da terra do alto curso do rio Anil .....	62

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Tipos Hidrológicos de Solo .....	63
<b>Tabela 2</b> - Valores de CN para bacias Urbanas .....	64
<b>Tabela 3</b> - Umidade Antecedente .....	66
<b>Tabela 4</b> - Exemplo de como foi realizado o cálculo de infiltração acumulada em mm/min .	70
<b>Tabela 5</b> - Pesos atribuídos na matriz .....	72
<b>Tabela 6</b> - Dados tabulados na matriz de correlação .....	73
<b>Tabela 7</b> - Unidades litoestratigráficas alto curso do rio Anil- São Luís /MA.....	81
<b>Tabela 8</b> - Formas de relevo no alto curso do rio Anil- São Luís.....	85
<b>Tabela 9</b> - Valores de hipsometria do alto curso do rio Anil-São Luís .....	87
<b>Tabela 10</b> - Valores de declividade do alto curso da bacia hidrográfica do rio Anil-São Luís	87
<b>Tabela 11</b> - Valores das classes de solos presentes no alto curso da bacia hidrográfica do rio Anil .....	91
<b>Tabela 12</b> - Curva número para classes de uso e cobertura do alto curso do rio Anil.....	102
<b>Tabela 13</b> - Potencial de retenção da água no solo .....	105
<b>Tabela 14</b> - Testes de infiltração realizados no alto curso da bacia hidrográfica do rio Anil – São Luís- MA .....	147
<b>Tabela 15</b> - Maior precipitação diária ocorrida no alto curso do rio Anil-São Luís / MA ....	156
<b>Tabela 16</b> - Cálculo do escoamento superficial convencional do alto curso do rio Anil - São Luís/MA .....	158
<b>Tabela 17</b> - Cálculo do escoamento superficial a partir dos testes de infiltração realizados no alto curso do rio Anil - São Luís/MA .....	162
<b>Tabela 18</b> - Interpretação da matriz de correlação.....	181

## LISTA DE SIGLAS

ANA - Agência Nacional das Águas  
APP - Área de Preservação Permanente  
ARIE - Área de Relevante Interesse Ecológico  
BNH - Banco Nacional de Habitação  
CINTRA - Centro Integrado do Rio Anil  
CN - Número Curva  
CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais  
DSG - Diretoria de Serviço Geográfico  
EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
ESRI - *Environmental Systems Research Institute*  
EUA - Estados Unidos da América  
FAPEMA - Fundação de Amparo à Pesquisa e Desenvolvimento Científico do Maranhão  
FMRB - Fundação da Memória Republicana  
GEOMAP - Grupo de pesquisa Geomorfologia e Mapeamento  
GPS - *Global System Position*  
GTP - Geossistema-Território-Paisagem  
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
INCID - Instituto da Cidade, Pesquisa e Planejamento Urbano e Rural  
IDW - *Inverse Distance Weighted*  
INMET - Instituto Nacional de Meteorologia  
MMA - Ministério do Meio Ambiente  
MA - Maranhão  
NRCS - *National Resource Conservation Service*  
PAC - Programa de Aceleração do Crescimento  
PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos  
SCS - *Soil Conservation Service*  
SEMA - Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos  
UEMA - Universidade Estadual do Maranhão  
USDA - *United States Department of Agriculture*  
UTM - Universal Transversa de Mercator

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>21</b>
<b>2. ALTO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ANIL: Uma análise a partir do Espaço Geográfico e da técnica <i>Soil Conservation Service</i> .....</b>	<b>25</b>
<b>2.1 Análise espaço-temporal no alto curso da bacia hidrográfica do rio Anil .....</b>	<b>25</b>
<b>2.2 Bacia hidrográfica urbana e escoamento superficial .....</b>	<b>39</b>
2.2.1 Bacia Hidrográfica .....	39
2.2.2 Ciclo Hidrológico.....	40
2.2.3 Drenagem urbana .....	43
2.2.4 Escoamento Superficial.....	45
<b>2.3. Técnica da pesquisa.....</b>	<b>48</b>
<b>3. PROCEDIMENTOS TÉCNICO-METODOLÓGICOS.....</b>	<b>54</b>
<b>3.1 Levantamento bibliográfico e cartográfico .....</b>	<b>54</b>
<b>3.2 Elaboração dos mapas temáticos .....</b>	<b>55</b>
<b>3.3 Análise estatística e elaboração da matriz de correlação.....</b>	<b>71</b>
<b>3.4 Trabalhos de campo .....</b>	<b>75</b>
<b>4 ANÁLISE DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL NO ALTO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ANIL .....</b>	<b>78</b>
<b>4.1 Aspectos fisiográficos da área de estudo .....</b>	<b>78</b>
<b>4.2 Escoamento superficial do alto curso da bacia hidrográfica do Anil com base na técnica <i>Soil Conservation Service (SCS) - Curve Number</i> .....</b>	<b>96</b>
4.2.1 Tipo hidrológico do solo na área de estudo .....	96
4.2.2 Uso e cobertura da terra .....	98
4.2.3 Curva Número do alto curso da Bacia .....	102
4.2.4 Potencial hidrológico do solo na área de estudo .....	105
4.2.5 Potencial hidrológico com testes de infiltração .....	106
4.2.6 Precipitação Total da área .....	155
4.2.7 Escoamento Superficial.....	156
<b>4.3 Matriz de correlação .....</b>	<b>178</b>

<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>183</b>
REFERÊNCIAS .....	186
APÊNDICE A – FICHA DE CAMPO .....	193
APÊNDICE B - TABELA DE MEDIÇÃO DA INFILTRAÇÃO ACUMULADA ...	194
ANEXO A – TABELAS DE SARTORI.....	195

## 1. INTRODUÇÃO

A ocupação do solo sem um prévio estudo pode resultar em diversos problemas socioambientais para populações residentes nos diversos ambientes. O uso e ocupação de forma indiscriminada da terra, sobretudo o descumprimento das legislações, põe em risco a qualidade dos recursos hídricos e a diminuição e/ou perda da qualidade de vida.

Um dos parâmetros mais afetados em virtude do uso e ocupação da terra de forma inadequada é o escoamento superficial, que é condicionado às modificações e alterações na cobertura do solo, podendo aumentar de forma significativa a vazão durante a precipitação, já que, grande parte da água não efetua o processo de infiltração ao chegar à superfície do solo que se encontra impermeabilizada.

O aumento do escoamento superficial pode ocasionar desastres como: alagamentos e enxurradas em circunstâncias de alta concentração de precipitação alinhada ao alto grau de impermeabilização do solo e a redução do abastecimento dos aquíferos. Para Tucci (2001, p. 409), “o escoamento superficial é a parcela do ciclo hidrológico em que a água se desloca na superfície da bacia [...]”.

Essa dinâmica é mais visível em áreas com um contingente populacional expressivo, como a Ilha do Maranhão, que é composta por quatro municípios: Paço do Lumiar, Raposa, São José de Ribamar e São Luís, sendo esta última a capital do estado do Maranhão, cuja a população estimada é de 1.108.975 (IBGE, 2020).

Nesse sentido, o processo de modificação do meio físico, como o aumento da impermeabilização, pode potencializar o escoamento superficial, sendo essa dinâmica observada na bacia hidrográfica do rio Anil, que possui uma área de 40,77 km<sup>2</sup>, localizando-se na porção Noroeste da Ilha do Maranhão.

De acordo com a projeção Unidade Transversa de Mercator (UTM), está localizada na zona 23 M, 9716000/9724000 latitude Sul e 580000/584000 longitude Oeste. A área da bacia limita-se ao Norte com a bacia Litorânea, ao Sul com a bacia do rio Bacanga, a Oeste com Baía de São Marcos e a Leste com a bacia do rio Paciência.

Partindo desses pressupostos, propõe-se estudar o alto curso da bacia hidrográfica do rio Anil, visto que, o escoamento superficial é um fenômeno propiciado pela impermeabilização do solo e declividade do terreno ocasionado sobretudo pela redução da capacidade infiltração da água no solo, gerando um maior escoamento superficial. Pode-se

considerar ainda que, nesta conjuntura, já foram identificadas diversas áreas de risco às inundações, alagamentos, enchentes e enxurradas em trabalhos como os de: Barros (2015), Costa (2018) e Santana (2020).

A bacia possui cerca de 66% de área impermeabilizada. A falta de cobertura vegetal é um dos grandes indicadores de áreas urbanizadas<sup>1</sup>, caracterizando uma modificação significativa no que tange à impermeabilização do solo (CRUZ, 2019).

Nesse sentido, este estudo propõe a utilização da técnica do *Soil Conservation Service -SCS*, com a utilização do parâmetro *Curve Number- CN*. A aplicação da técnica se justifica pela sua eficácia para avaliação da evolução do escoamento superficial e pela apresentação de resultados positivos em diferentes aplicações, sendo um procedimento utilizado nacional e internacionalmente. Para comparação dos resultados de escoamento superficial obtidos com aplicação da técnica, foram realizados testes de infiltração de acordo com tipo hidrológico de solo encontrado na área de estudo.

De acordo com Grove *et al.* (1998), a técnica do *Curve Number*, ou amplamente conhecido como CN, é uma das mais utilizadas para estimativa do escoamento superficial. O modelo foi criado pelo Serviço de Conservação do Solo (SCS – USDA), que atualmente é denominado de Serviço de Conservação dos Recursos Naturais (NRCS-USDA). A técnica é empírica, sendo baseada em um conjunto de relações entre precipitação, tipo hidrológico do solo, uso e cobertura.

Para melhor análise das taxas geradas de escoamento superficial com técnica convencional do SCS e testes de infiltração, foi gerado a Matriz de Correlação de Spearman. Dessa maneira, a análise empregada é aplicada “[...] para calcular o coeficiente de correlação entre variáveis mensuradas em nível ordinal, chamado também de coeficiente de correlação por postos de Spearman, designado “rho” e representado por  $P_s$  (LIRA; CHAVES NETO, 2006, p.47). Em suma, a análise visa compreender se existe correlação entre as variáveis.

Levando-se em conta as considerações supraditas a presente pesquisa traça como objetivo principal: analisar o escoamento superficial no alto curso da bacia hidrográfica do rio Anil, através de características fisiográficas e precipitação pluviométrica da área de estudo, utilizando a técnica proposta pelo *Soil Conservantion Service- Curve Number (SCS-CN)*.

---

<sup>1</sup> De acordo com Magalhães, Toscano e Bergamaschi (2013, p. 221), “[...] as áreas urbanizadas são o resultado da ocupação antrópica sobre o território; são áreas que possuem ocupação contínua de edificações, ou que de alguma forma sofreram impacto antrópico destinado à ocupação urbana.”

Os objetivos específicos são:

- Classificar e avaliar o uso e cobertura da terra;
- Caracterizar fisiograficamente o alto curso da bacia;
- Identificar o *Curve Number* da área através da análise de dados fisiográficos e climatológicos da área;
- Identificar o escoamento superficial da área;
- Comparar e validar esses dados através do teste de infiltração.

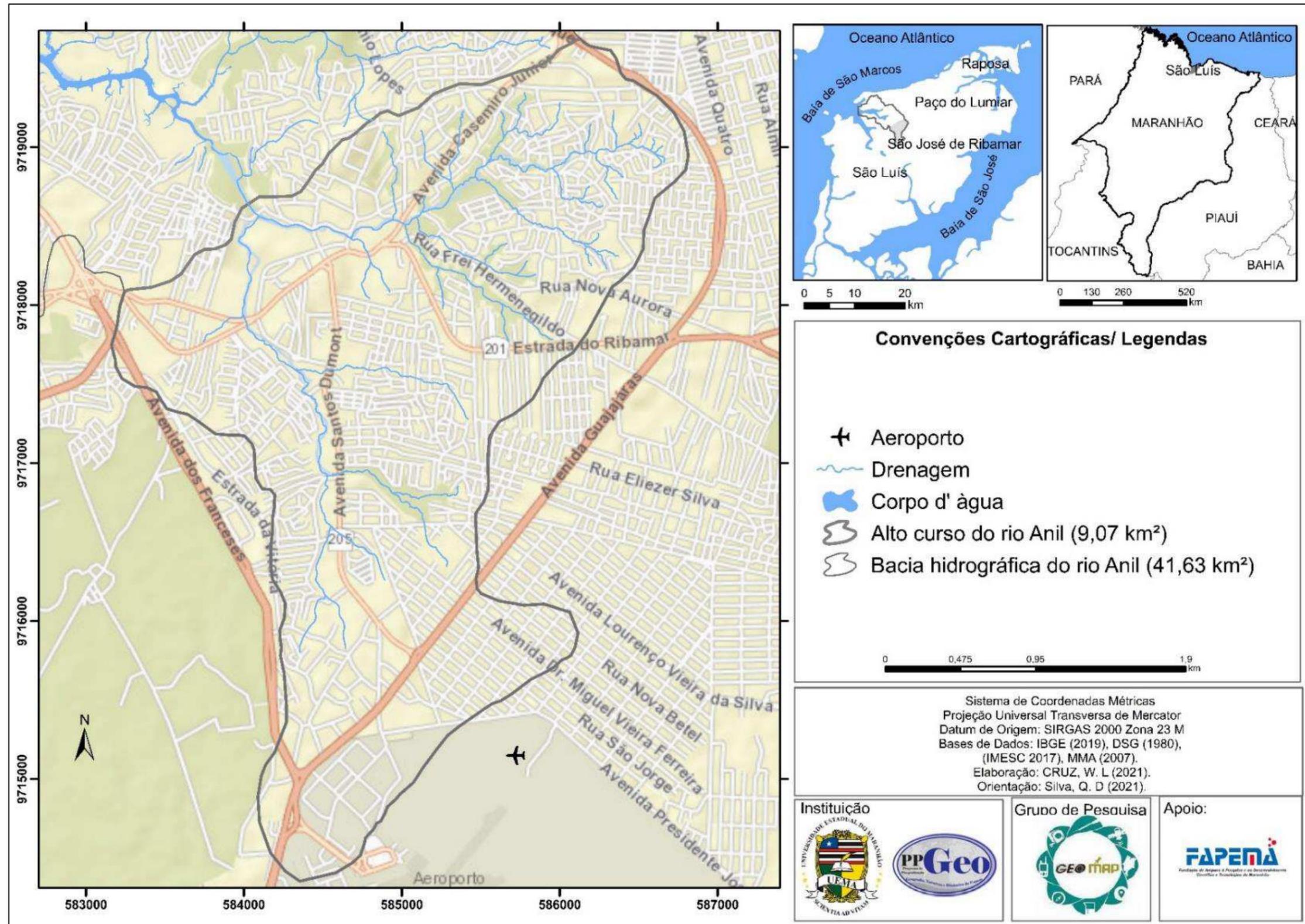
Para mais, a área de objeto de estudo, encontra-se na Ilha do Maranhão, no município de São Luís, possuindo 9,07 km<sup>2</sup> (Mapa 1), sendo a escala de análise da área 1: 10.000. Em vista disso, esta dissertação está organizada em cinco capítulos. No primeiro consta a introdução do relatório; no segundo a descrição do processo de ocupação e urbanização da bacia hidrográfica do rio Anil, levando em consideração a perspectiva de análise a partir do espaço geográfico, partindo de Milton Santos (2014) e suas categorias de análise do espaço: forma, função, estrutura e processo.

Ainda no segundo capítulo da presente dissertação são tratados conceitos fundamentais para a pesquisa, como: bacia hidrográfica, ciclo hidrológico, drenagem urbana e por fim, a descrição da técnica do SCS-CN, bem como, os procedimentos do teste de infiltração utilizando o anel de Hills (1970).

No terceiro capítulo, são elencados e descritos os procedimentos técnico-metodológicos da pesquisa, partindo do levantamento bibliográfico, da elaboração dos mapas temáticos, dos trabalhos de campo, da aplicação da técnica SCS-CN convencional e com os testes de infiltração.

No quarto capítulo, são tratados os aspectos relacionados aos resultados e discussões da pesquisa, sendo discutido neste a caracterização dos aspectos fisiográficos do alto curso da bacia hidrográfica do rio Anil. Neste capítulo, são abordados os resultados obtidos com a aplicação da técnica do SCS-CN, bem como, os resultados dos testes de infiltração, sendo esses comparados com os do SCS convencional, além da análise estatística Spearman, a partir da Matriz de Correlação, visando analisar a correlação dos valores gerados de escoamento superficial para o alto curso da bacia. E por fim, o quinto capítulo, que aborda as considerações finais da dissertação.

Mapa 1 - Mapa de Localização do alto curso da bacia hidrográfica do rio Anil- São Luís/ MA



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

## 2. ALTO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ANIL: Uma análise a partir do Espaço Geográfico e da técnica *Soil Conservation Service*

Neste capítulo, é apresentado a fundamentação teórica da pesquisa, partindo dos conceitos correlacionados às transformações espaciotemporais na área de estudo, além de teóricos que desenvolveram trabalhos utilizando a técnica do *Soil Conservation Service-SCS* e seus respectivos resultados. A fundamentação, seguirá partindo concepção de Espaço Geográfico no alto curso da bacia hidrográfica do rio Anil, bem como, dos Conceitos da Pesquisa, incluindo neste tópico as seguintes definições: Bacia Hidrográfica, Ciclo Hidrológico, Drenagem Urbana, Escoamento Superficial e por fim, técnica do SCS- CN, e seus parâmetros.

### 2.1 Análise espaço-temporal no alto curso da bacia hidrográfica do rio Anil

Neste tópico, é discutido o espaço geográfico, sendo este conceito fundamental para o entendimento dos fenômenos e transformações na área de estudo. Essa interpretação é feita partindo das categorias de análise do espaço geográfico (forma, função, estrutura e processo), descritas por Santos (2014).

O espaço é caracterizado por uma realidade objetiva, sendo o mesmo um produto social em permanente processo de transformação. O espaço impõe sua própria realidade, por isso a sociedade não pode operar fora dele (SANTOS, 2014).

Para compreender o espaço se faz necessário entender a relação com a sociedade, pois a compreensão desta é caracterizada pelos efeitos dos **processos** (tempo e mudança), e especifica a noção de **forma, função e estrutura**, que se configuram como elementos fundamentais para a compreensão da produção do espaço (SANTOS, 2014).

Em suma, o entendimento do processo de organização social e conseqüentemente a produção do espaço é possível através da análise das categorias do espaço geográfico, relatadas anteriormente. Em termos concretos, essas mudanças na organização espacial se dão: “[...] sempre que a sociedade (a totalidade social), sofre uma mudança, as formas ou objetos geográficos (tantos os novos como os velhos) assumem novas funções; a totalidade da mutação cria uma organização social (SANTOS, 2014, p. 67).

Nesse contexto, compreende-se que para se examinar a estruturação social<sup>2</sup>, incluindo nessa perspectiva a forma, função, estrutura e processo, se faz necessário compreender as modificações ocorridas em diferentes processos históricos, destacado por Milton Santos, como Estrutura Espaço-temporal.

[...] a sociedade só pode ser definida através do espaço, já que o espaço é o resultado da produção, uma decorrência de sua história mais precisamente, da história dos processos produtivos impostos ao espaço pela sociedade” (SANTOS, 2014, p. 69).

Para compreender as modificações ocasionadas pela sociedade dentro do espaço, é preciso concernir a paisagem, já que ela é o resultado acumulativo das mudanças ocorridas no espaço-temporal ocasionados pelas técnicas<sup>3</sup>.

[...] a paisagem é formada pelos fatos do passado e do presente. A compreensão da organização espacial, bem como de sua evolução, só se torna possível mediante a acurada interpretação do processo dialético entre forma, estrutura e funções através do tempo (SANTOS, 2014, p. 68).

A paisagem é um conjunto de formas e funções em constante transformação, seus aspectos “visíveis”, mas, por outro lado, as formas e as funções indicam a estrutura espacial, em princípio, “invisível”, e resulta sempre na união da paisagem com a sociedade (SERPA, 2010).

Compreendendo a relação dos condicionantes ambientais e das variáveis antrópicas, a presente pesquisa também se correlaciona com a proposta teórico-metodológica do Geossistema, tendo em vista que tem uma abordagem sistêmica.

De acordo com Costa, Fontes e Souza, (2012, p.55) “o estudo sobre geossistemas requer o reconhecimento e a análise dos componentes da natureza, sobretudo através das suas conexões”. Deste modo, os Geossistemas são compreendidos como unidades naturais integrais,

---

<sup>2</sup> Para A. R. Radcliffe-Brown (1940), "a estrutura social designa a rede complexa de relações sociais que existe realmente e une seres humanos individuais num certo meio natural."

<sup>3</sup> De acordo com Santos (2006, p. 16), “As técnicas são um conjunto de meios instrumentais e sociais, com os quais o homem realiza sua vida, produz e, ao mesmo tempo, cria espaço.”

onde é possível distinguir suas modificações e transformações como resultantes das ações dos diferentes tipos de ocupação (GUERRA; MARÇAL, 2006).

Neste sentido, a paisagem apresenta relações “[...] dinâmicas entre os seus vários componentes que permitem o conhecimento dos principais aspectos, em particular, os seus elementos e processos responsáveis pela materialização de uma estrutura complexa e individualizada no espaço” (COSTA; FONTES; SOUZA, 2012, p.55).

Deste modo, Santos (2014) detalha os seguintes conceitos: **Forma:** é o aspecto visível de uma coisa, arranjo ordenado de objetos, descrição de fenômenos ou de aspectos num dado instante de tempo; **Função:** tarefa ou atividade esperada da forma; **Estrutura:** inter-relação de todas as partes de um todo, o modo de organização ou construção; **Processo:** Ação contínua, resultado qualquer, implicando conceitos de tempo (continuidade) e mudança.

Reconhece-se que o trabalho se correlaciona com as alterações que o espaço urbano sofre, sobretudo, na interação entre o homem e o ambiente. Nesse sentido, optou-se pela categoria espaço geográfico abordado por Santos (2014), compreendendo a organização espacial e sociotemporal, assim:

Forma, função, estrutura e processo são quatro termos disjuntivos, mas associados, a empregar segundo um contexto do mundo de todo dia. Tomados individualmente, representam apenas realidades parciais, limitadas, do mundo. Considerados em conjunto, porém, e relacionados entre si, eles constroem uma base teórica e metodológica a partir da qual podemos discutir os fenômenos espaciais em totalidade (SANTOS 2014, p. 71).

Partindo dos pressupostos expostos anteriormente, é discutido a partir deste a perspectiva espaçotemporal proposta por Santos (2014), em especial uma análise do espaço geográfico do alto curso da bacia hidrográfica do rio Anil, levando em consideração os conceitos de forma, função, estrutura e processo para análise da área, bem como o detalhamento de aspectos históricos do uso e ocupação da área de estudo.

O marco de colonização da cidade de São Luís, encontra-se dentro da área da bacia do rio Anil (Figura 1), que se iniciou-se com a construção do forte *Saint Louis* em 1612. “[...] forte São Luís, e onde existia o único ancoradouro da Ilha do Maranhão, em que era possível fundear com toda segurança navios de mil a mil e duzentas toneladas” D`ABEVILLE (2002 apud. SOUZA, 2005).

**Figura 1 - Ancoradouro na foz do rio Anil em 1908**



Fonte: Cunha, 1987 apud. Souza, 2005.

De acordo com Feitosa (2016, p. 34), o rio tem o nome de Anil, devido “às características de seu principal rio, que tinha suas águas de coloração azulada, devido à grande quantidade de plantas de anil em suas margens”. O processo histórico de ocupação da bacia, se correlaciona diretamente ao da cidade de São Luís.

De acordo com Burnett (2008) o processo de urbanização da cidade de São Luís se caracteriza por duas urbanizações (Quadro 1), a urbanização Tradicional que correspondeu dos anos de 1615 a 1965 e a urbanização modernista que ocorreu de 1965 a 2000. Nesse sentido,

Os dois tipos de urbanização de São Luís estão assim representados em nossa análise: a urbanização tradicional corresponde aos quatro primeiros períodos, que abrangem de 1615, data da posse definitiva do território pela Coroa Portuguesa, até 1965 com a mudança do eixo de expansão e início da urbanização modernista, dividida em duas fases que correspondem a sua implantação e consolidação (BURNETT, 2008, p.112).

**Quadro 1 - Urbanização da Cidade de São Luís / MA**

PERÍODOS		FATORES			
		Populacionais - Socioculturais	Econômicos - Financeiros	Políticos - Administrativos	Locacionais e Espaciais
URBANIZAÇÃO TRADICIONAL	1615 A 1750	Início e consolidação da ocupação portuguesa	Núcleo urbano sem funções econômicas significativas	Cidade de conquista, base para penetração no interior	Implantação do forte francês e traçado de Frias de Mesquita
	1750 A 1820	Empresas estrangeiras e migração açoriana	Cia. Geral do Comércio e a produção algodoeira	Alternância com Belém como Capital da província	Valorização da Praia Grande e expansão do traçado de Frias
	1820 A 1900	Baixo crescimento populacional e divisão social do espaço	Expansão industrial e consolidação do parque têxtil	Independência do Brasil e Maranhão Capital da província	Pólos industriais de urbanização e os códigos de posturas
	1900 A 1965	Novos pólos no interior do Estado e baixo crescimento populacional	Estagnação econômica e integração à economia nacional	Governo republicano e a Intervenção de Paulo Ramos	Renovação do centro e plano de expansão de Ruy Mesquita
URBANIZAÇÃO MODERNISTA	1965 A 1980	A migração como principal fator de crescimento populacional	O BNH e os grandes projetos nacionais em São Luís: Alumar/CVRD	Governo José Sarney, modernização administrativa e Governo militar	Novo eixo de expansão, agregação territorial e PD 1977
	1980 A 2000	Migração interna rural e ocupação ilegal de áreas urbanas	Suspensão de financiamentos e carência de recursos privados	Democratização e eleições municipais	Consolidação dos Pólos residenciais de alta e baixa renda

Fonte: Burnett (2008).

A primeira das seis fases de urbanização é descrita pelo autor supracitado, a cidade de São Luís tinha como função um posto de controle militar, sobretudo no início e consolidação e ocupação portuguesa, estrategicamente implantada sobre a Baía de São Marcos, entre os rios Anil e Bacanga (BURNETT, 2008).

De acordo com Costa (2018), o Forte São Luís tinha como função militar e o porto, função mercantil, gerando estruturas e processos baseados na exportação agrícola, com destino sobretudo ao mercado europeu. Se faz necessário destacar, ainda, que a mão de obra era escrava, sendo a mesma a base de sustentação econômica, fazendo parte da estrutura e firmando o processo até então vigente. Costa (2018) afirma que:

Nesta primeira fase, caracteriza-se a forma do Forte São Luís pela função militar e do Porto como função mercantil, tendo uma estrutura e processo baseados na exportação da produção agrícola cultivada na cidade (principalmente algodão, arroz e cana de açúcar) com destino ao mercado Europeu, sendo o porto até o momento como o núcleo comercial e administrativo da cidade e a mão de obra escrava a base de sustentação da economia na época, fazendo parte da estrutura e gerando a manutenção do processo (COSTA, 2018, p.28).

Nesta perspectiva, pode-se caracterizar a São Luís do período acima, que vai de 1612 a 1755, como “[...] uma cidade sem pujança econômica, exercendo funções mais de caráter político” (RIBEIRO JÚNIOR, 1999, p. 25 apud. BURNETT 2008).

O segundo momento ocorreu entre os anos dos anos de 1750 a 1820, denominado por Burnett (2008), como a Companhia Geral do Grão-Pará e Maranhão, aonde a cidade de São Luís possuiu uma função comercial. Esse período tem como principais características a presença de empresas estrangeiras, a migração açoriana e o avanço econômico do estado, sobretudo da cidade São Luís, com a Companhia Geral do Comércio e produção algodoeira.

Neste mesmo período relatado anteriormente, ocorreu também a valorização da área denominada Praia Grande, bem como a expansão da mesma. Esse processo de expansão se deu a partir da criação pelo Marquês de Pombal, da Companhia Geral do Grão-Pará e Maranhão, em 1755, a cidade de São Luís passa a conhecer seu primeiro surto de desenvolvimento econômico (BURNETT, 2008). Com isso,

A partir da criação, pelo Marquês de Pombal, da Companhia Geral do Grão-Pará e Maranhão, em 1755, a cidade de São Luís passa a conhecer seu primeiro surto de desenvolvimento econômico. Alimentada por uma série de medidas protecionistas que incentivaram a comercialização dos produtos agrários da região - com vistas ao seu consumo na Europa pós-revolução industrial -, a Companhia canaliza para São Luís e Belém, as cidades que irão se revezar como capital do Estado do Maranhão e Grão-Pará, grandes riquezas originadas a partir da comercialização e exportação de arroz, algodão e couros (RIBEIRO JUNIOR, 1999, p. 62 apud. BURNETT, 2008).

Para Burnett (2008, p. 119), a partir da Companhia Grã - Pará e Maranhão (CGGPM), no final do século XVIII e início do século XIX, ocorreu um grande processo de “[...] instalação de grandes companhias exportadoras e importadoras, comandadas por ingleses e franceses que vão iniciar a fase de crescimento urbano da cidade e seu relacionamento cosmopolita com Europa”.

E esse processo mudou o destino e conteúdo da cidade de São Luís, perpassando da (forma) com (função) militar, para uma nova configuração ocasionada pela estruturação dos processos, trazendo consigo a nova função para o espaço de entreposto comercial. Para Burnett (2008, p. 119), “desta forma, muda-se o destino e o conteúdo da cidade de São Luís: de acampamento militar com função política de controle de acesso da região, a entreposto comercial.”

Essas modificações tiveram duas consequências, sobretudo na configuração do espaço da cidade São Luís. A primeira, eleva e diversifica a população e produz a concentração das atividades econômicas, o que torna a cidade “[...] um espaço estratégico para o desenvolvimento então conhecido pela região”, provocando a “[...] valorização dos chãos urbanos, pelo menos nas áreas sob influência das atividades produtivas” (MOTA; MANTOVANI, 1998, p. 37).

Como segunda consequência, com vistas a alojar edificações maiores, sejam residenciais, sejam comerciais, são aumentadas as dimensões dos lotes urbanos, configurando esta variedade a maioria dos quarteirões da cidade (MOTA; MANTOVANI, 1998, p. 51).

A terceira Fase ocorreu entre os anos de 1820 a 1900. Esse período é caracterizado por Burnett (2008) como: ocorrência de um baixo crescimento populacional, divisão do social do espaço, expansão industrial e consolidação do parque têxtil.

De acordo com Souza (2005), “na segunda metade do século XIX, foram construídas estradas ligando o bairro central aos arredores como o Anil, atual João Paulo, Vinhais e Calhau, além de algumas fábricas”.

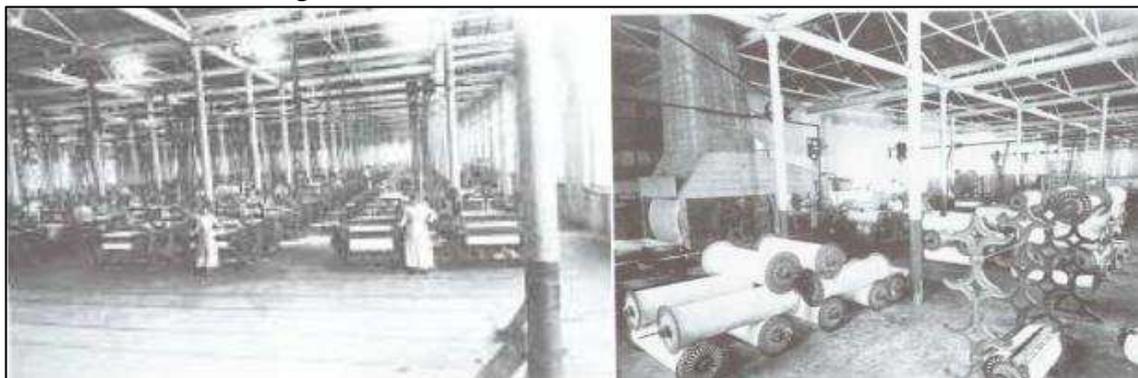
Como a tardia adesão do Maranhão em 1823 à independência nacional, a cidade de São Luís é confirmada como a capital da província do Maranhão. O poder político na cidade é consolidado como:

[...] pólo comercial inquestionável, reforça seu domínio sobre o hinterland. Nas décadas iniciais da segunda metade do século XIX, a Rua do Giz torna-se “um centro financeiro” com a instalação de algumas casas bancárias, iniciativas de destacados homens de comércio da então província (RIBEIRO JUNIOR, 1999, p. 68).

Com os avanços econômicos ocorridos, ao final do século XIX, a cidade de São Luís ocupava o posto de 4º centro urbano do país. Tendo cerca de 15 parques indústrias, das quais oito eram no setor têxtil (RIBEIRO JUNIOR, 2001). Esse quantitativo demonstrar um grande avanço industrial na área, sobretudo na bacia do rio Anil (Forma) aonde localiza-se a fábrica de tecido do rio Anil.

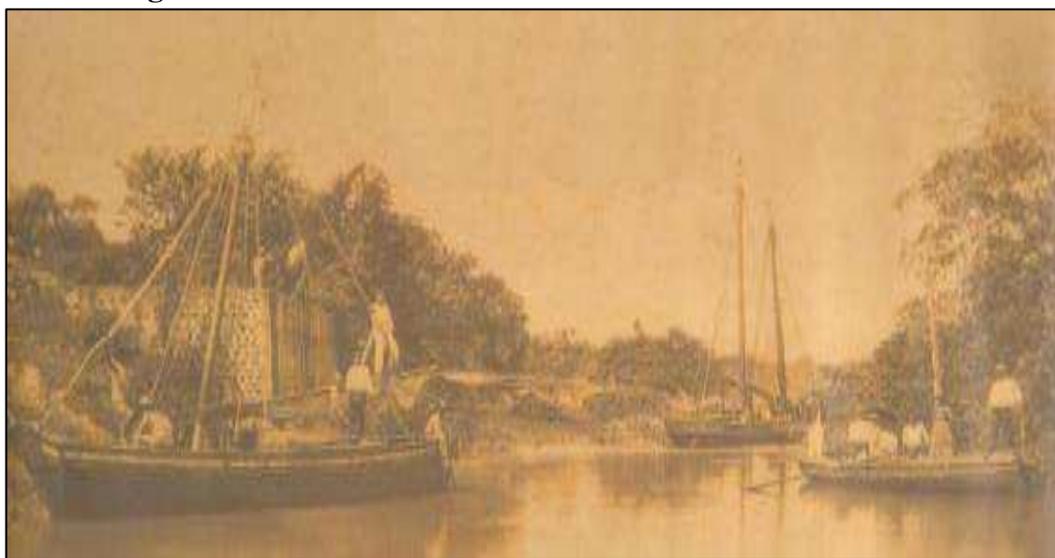
Um dos exemplos claros da época áurea de industrialização na área da bacia do rio Anil, sobretudo o alto curso da mesma, é a fábrica de tecido do rio Anil Companhia de Fiação e Tecidos Maranhense em 1839; começa a operar a Companhia de Fiação e Tecidos Rio Anil (Figura 2 e 3), atualmente é Instituto Estadual de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IEMA) - Unidade Vocacional Centro Integrado Rio Anil (CINTRA) (Figura 4).

Figura 2 - Fábrica de Tecidos do Rio Anil-1980



Fonte: Cunha, 1987 apud. Souza, 2005.p 57.

Figura 3 - Porto do Anil em 1908 - Próximo a fábrica de tecidos



Fonte: O livro do Maranhão 1908, apud. Feitosa, 2016.p 40.

A quarta fase, ocorreu entre os anos de 1900-1965. Essa fase é caracterizada pela estagnação econômica da cidade, sobretudo ocasionada por sua situação geográfica periférica, em relação aos centros de poder político e financeiro do Brasil. Assim,

A estabilização, no século XX, do modelo de concentração do desenvolvimento nacional na região sudeste do País e a situação geográfica periférica da cidade com relação aos centros de poder político e financeiro do Brasil, provocaram em São Luís, como em inúmeras outras cidades do Norte e Nordeste, uma estagnação econômica iniciada para os maranhenses em fins dos anos 20, com o declínio da produção industrial têxtil do Estado, e que se consolidou com o modelo industrial do governo de Getúlio Vargas. (BURNETT, 2008, p.126).

Nessa conjuntura, o chamado “Caminho Grande” foi uma via de ligação do aldeamento central com as vilas do interior, sentido alto curso do rio Anil (Figura 4), configurou-se como um vetor de expansão da cidade, entre 1889 – 1936.

Em 1940 foi aberta a Av. Getúlio Vargas, avançando em direção aos subúrbios da cidade (alto curso da bacia do rio Anil). Neste momento, Intensifica-se o processo de desvalorização da área central da cidade (baixo curso da bacia do rio Anil) com a mudança de famílias abastadas para os arredores da avenida (ATAÍDE *et al*, 2002).

**Figura 4** - Estrada do Anil 1908



Fonte: Cunha, 1987 apud. Souza, 2005.

As quatro fases relatadas anteriormente são denominadas como Urbanização Tradicional de acordo com Burnett (2008). Esse período configura mudanças significativas no espaço urbano da cidade de São Luís, sobretudo a bacia hidrográfica do rio Anil, já que a mesma foi o ponto inicial de colonização da cidade.

Dentre os processos citados observadas as mudanças ocorridas no espaço, ocasionadas pelas modificações sociotemporais. Esse processo de transformações da cidade que até então possuía com forma o posto militar, com função de defesa, perpassa, através de uma mudança na conjuntura econômica, ao processo mercantil, baseado em uma estrutura Fabril. De igual modo,

Se observarmos os empreendimentos elencados anteriormente, percebe-se que estes diante da conjuntura econômica da época, ou seja, do processo mercantil, baseado na estrutura fabril da produção de tecidos, cujas formas caracterizaram-se pelas companhias de tecido provenientes do cultivo do algodão, estando este em seu auge de produção exportação, compreende-se a inter-relação do processo, forma, função e estrutura agindo uns sobre os outros (COSTA, 2018, p.30).

O segundo momento de urbanização, denominada por Burnett (2008), Urbanização Modernista é dividido em duas fases. A primeira, de 1965-1980 é denominada de “os grandes projetos nacionais e a urbanização fordista”. Esta fase tem como característica um grande processo de migração, sendo esse, um dos principais fatores de crescimento populacional. Esse aumento demográfico trouxe grandes investimentos do Banco Nacional de Habitação- (BNH) e os grandes projetos de urbanização em São Luís, ocasionando a modernização administrativa ocorrendo durante o período do governo militar.

Alimentado por tais projetos e realizações que, desde a década de 50, germinavam na cidade, o governo José Sarney (1966-1970) - que substituiu a oligarquia de Vitorino Freire (1945-1965), cujo poder político se estendeu por vinte anos (BUZAR, 1998) -, injeta na administração pública uma mentalidade empreendedora que se propunha rever o destino provinciano da capital (BURNETT, 2008, p.133).

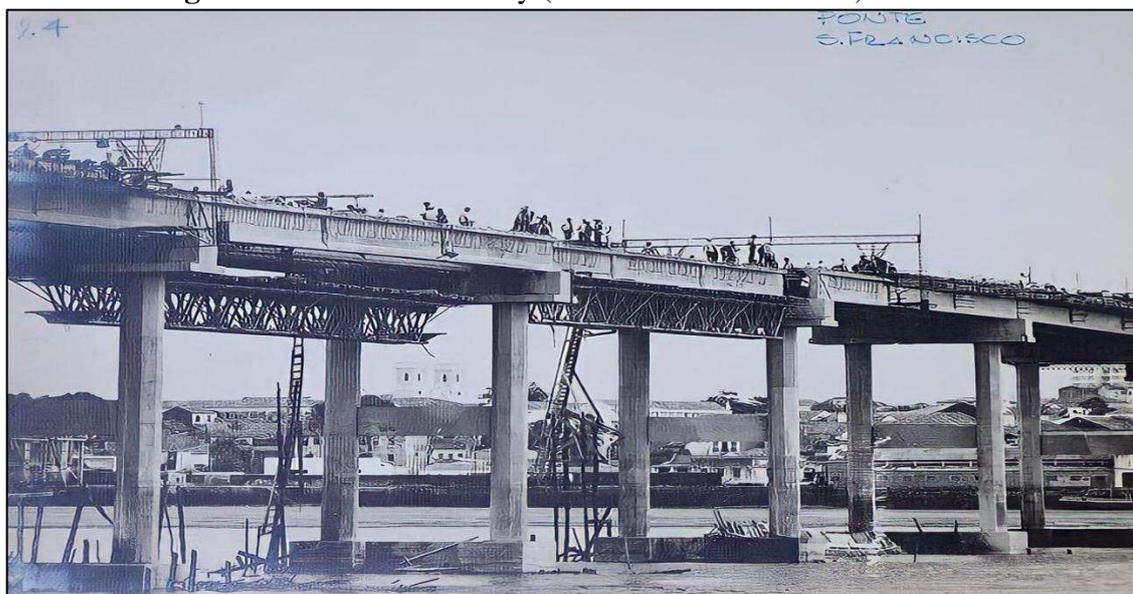
Dentre os projetos almejados pelos governantes e moradores da cidade, o encurtamento de distância entre as margens do rio Anil, era um dos grandes propósitos. A construção de pontes que ligavam o Centro Histórico (margem esquerda) do rio Anil e as faixas litorâneas da ilha (margem direita) facilitou a expansão urbana da cidade, visto que o processo de locomoção era efetuado sobretudo por via marítima.

Esse projeto começou a se torna realidade com a construção da ponte do Caratatiua, a primeira sobre o Rio Anil. Essa construção abriu passagem ao litoral, sendo um grande impulsionador para a expansão urbana da cidade de São Luís, sobretudo na BH do rio Anil.

Anos mais tarde ela possibilitaria a construção dos primeiros grandes conjuntos residenciais da cidade - IPASE, Maranhão Novo e COHAMA - implantados em rígidos loteamentos (BURNETT, 2008).

A construção da segunda ponte sobre o Rio Anil na década de 1970 (Figura 5), em direção à Ponta do São Francisco (José Sarney), construída como extensão da Rua do Egito, vai ser um fator muito mais eficiente para realização do almejado processo de expansão moderna da cidade, expansão na direção norte da ilha (BURNETT, 2008), como é possível visualizar na figura 5, a seguir:

**Figura 5 - Ponte José Sarney (Ponte do São Francisco) - São Luís/MA**



Fonte: Acervo Fundação da Memória Republicana - FMRB,1970.

De acordo com Souza (2005, p. 59), foi a partir da construção das pontes que ligavam as margens direita e esquerda do rio Anil mudam a configuração (forma) até então estabelecida no espaço, fazendo com que surgissem os bairros da “[...] Liberdade (Matadouro), Monte Castelo (Areal), Apeadouro, Bairro de Fátima (Cavaco), Alemanha, João Paulo, Caratatiua, Jordoa e Sacavém, que apresentavam condições precárias de urbanização”.

Outro grande impulsionador para expansão e explosão habitacional foram a implantação de fábricas, que levaram a prefeitura a preocupa-se com a organização do espaço urbano de São Luís. De acordo com Burnett (2008, p.134):

À decisão nacional de implantar em São Luís, grandes ‘projetos especiais’ tais como a fábrica de alumínio da Alumar, o porto exportador do Itaqui e a ferrovia Carajás, da Companhia Vale do Rio Doce [...] contribuíram para consolidar a ideia de uma iminente explosão habitacional e levaram a Prefeitura a preocupar-se com a organização do espaço urbano.

Para Costa (2018), a partir desse processo, o eixo de expansão de ocupação se modifica para uma zona que antes era rural e a partir destes investimentos econômicos e sociais, torna-se urbana e industrial.

A segunda fase ocorreu entre os anos de 1980 a 2000. É denominada de crise urbana e os polos de urbanização, tem como acontecimentos: a migração interna rural e ocupação ilegal de áreas urbanas, consolidação dos polos residenciais de alta e baixa renda.

De acordo com Souza (2005), no final dos anos 90 a bacia do rio Anil já sofre com perdas de áreas verdes (mangues e várzeas), aterramento de canais, ocasionado o saturamento de ocupação da bacia:

“No final dos anos 90 até os dias atuais, podemos observar a intensa verticalização da margem direita do Anil, e ampliação silenciosa de bairros desta margem em direção a calha do rio, que vem sendo gradativamente aterrada, uma vez que a ocupação desta bacia já atingiu seu ponto de saturação, restando ainda poucas áreas verdes, em sua maioria manguezais e várzeas, vulneráveis ao lucrativo mercado imobiliário.” (SOUZA, 2005, p. 68).

O Programa de Aceleração do Crescimento-PAC Rio Anil, foi implantado em São Luís no ano de 2007, com investimentos voltados para infraestrutura social e urbana, visando o desenvolvimento da área da bacia hidrográfica do rio Anil. O PAC RIO ANIL, se configurou como instrumento de investimentos sociais e urbanos para melhoria da qualidade de vida da população de baixa renda que reside nas áreas da margem esquerda bacia do rio Anil.

Segundo a Secretária de Estado e da Cidade - SECID, o PAC-RIO ANIL tinha como principais objetivos:

- Remoção de famílias que habitam palafitas à margem esquerda do Rio Anil localizadas nos bairros da Camboa, Liberdade, Fé em Deus e Alemanha;
- Construção de 2.720 apartamentos de 42m<sup>2</sup>;
- Construção de 07 áreas de Equipamentos Urbanos e Recuperação Ambiental;
- Avenida com 3,8 Km de extensão margeando o Rio Anil (Figura 6);
- Melhorias habitacionais nos bairros da Camboa, Liberdade, Fé em Deus, Irmãos Coragem, Alemanha;
- Reforma do Teatro Padre Haroldo no bairro da Liberdade;
- Regularização fundiária de aproximadamente 8 mil imóveis;
- Desapropriação/indenização de benfeitorias e a realização de trabalho técnico-social em toda área de intervenção.
- 

As obras realizadas no PAC-RIO ANIL ocasionaram modificações expressivas no espaço, contribuíram de forma positiva, mas também trouxeram agravamentos da degradação ambiental na bacia do rio Anil. Essas modificações mudaram novamente a forma sobretudo, ocasionado a verticalização e aterramento de diversos pontos da área.

**Figura 6 - Avenida IV Centenário - São Luís/Maranhão**



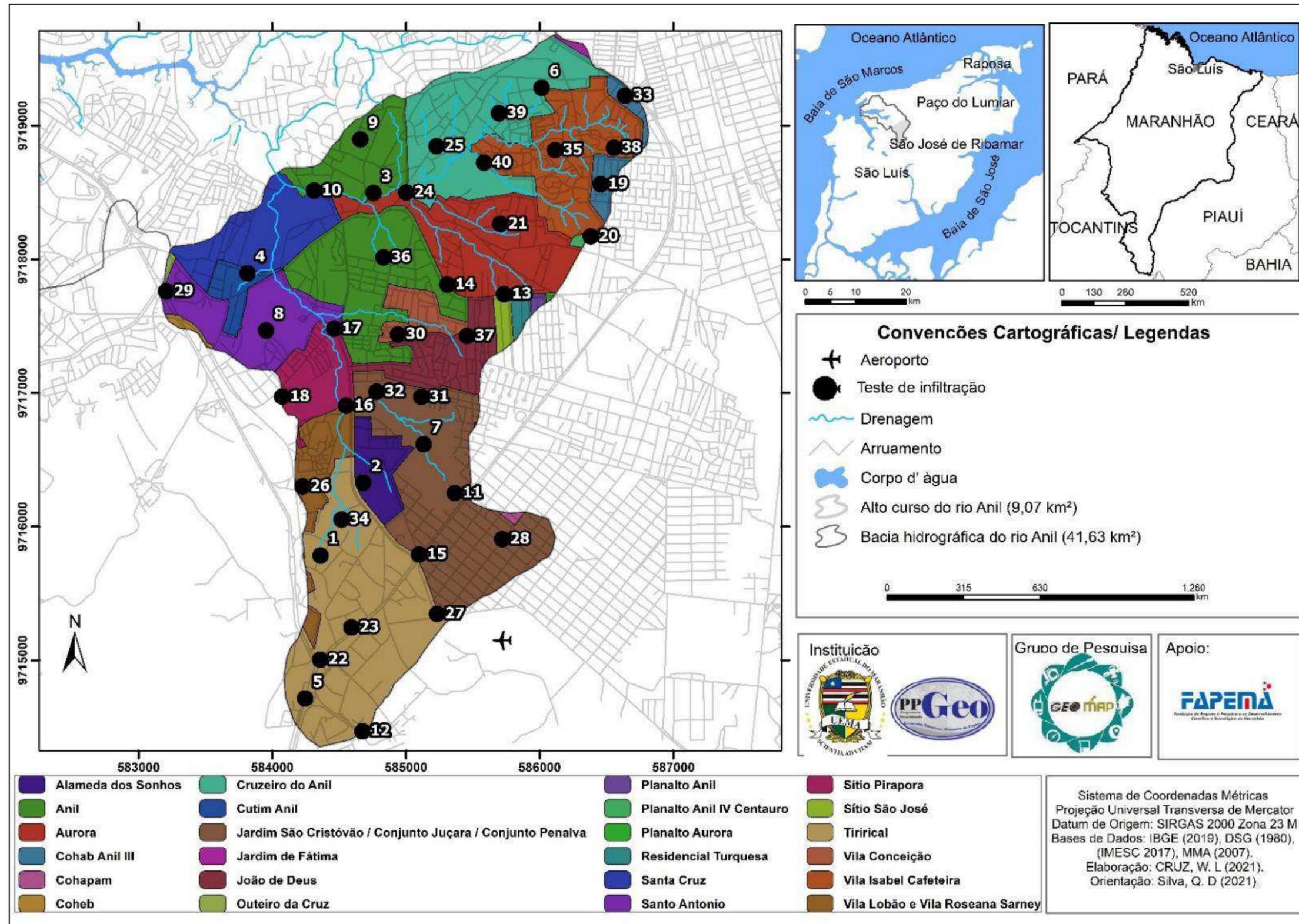
Fonte: Nonato Reis (2012).

O processo de ocupação da bacia do rio Anil no decorrer dos anos, se configurou como um principal agente de transformação do espaço. As formas e funções da área de estudo foram modificadas de acordo com a necessidade para a estruturação social e econômica da cidade de São Luís. O alto curso da bacia hidrográfica do rio Anil, atualmente com 24 bairros dimensão de areal de 9,07 km<sup>2</sup> (Mapa 2).

As mudanças acima citadas foram determinantes para a intensa ocupação da bacia do rio Anil, uma vez que esta bacia está localizada na área central de São Luís, abriga grande parte das atividades econômicas do município, como comércios e bancos, e dispunha de boa parte dos serviços básicos como transporte, escolas e hospitais (SOUZA, 2005.p 610).

Dentre os aspectos observados no processo de transformação do espaço na bacia do rio Anil, destaca-se a degradação e aumento da impermeabilização da área. Suguio e Bigarella (1990, p. 9) esclarecem que a “a retirada da vegetação facilita o escoamento superficial”. Dessa maneira, se faz necessário compreender o processo de uso e ocupação da terra, e esse processo influenciara na geração do escoamento superficial.

Mapa 2- Bairros do alto curso da bacia hidrográfica o rio Anil - São Luís- MA



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

## 2.2 Bacia hidrográfica urbana e escoamento superficial

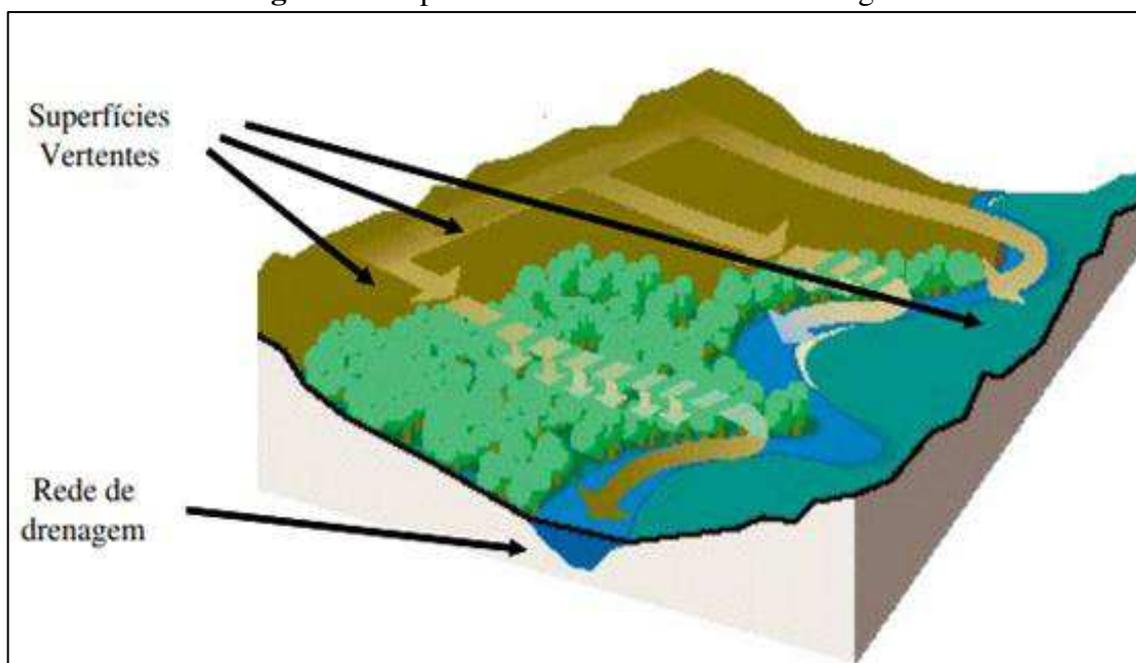
Neste item, discorre-se sobre os conceitos da pesquisa, bem como a definição de bacia hidrográfica, ciclo hidrológico, drenagem urbana e escoamento superficial, técnica *Soil Conservation Service (SCS) - Curve Number (CN)* e teóricos que trabalham com ela, além de teste de infiltração. Sendo estes conceitos elementos essenciais para o desenvolvimento da presente pesquisa.

### 2.2.1 Bacia Hidrográfica

A bacia hidrográfica (BH) é uma área de captação natural da água de precipitação pluvial, com o escoamento confluindo para um único ponto de saída. Este é denominado de exutório.

A bacia hidrográfica compõe-se de um conjunto de superfícies vertentes (Figura 7) e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar em um leito único no seu exutório (TUCCI, 1997).

**Figura 7 - Superfícies vertentes e rede de drenagem**



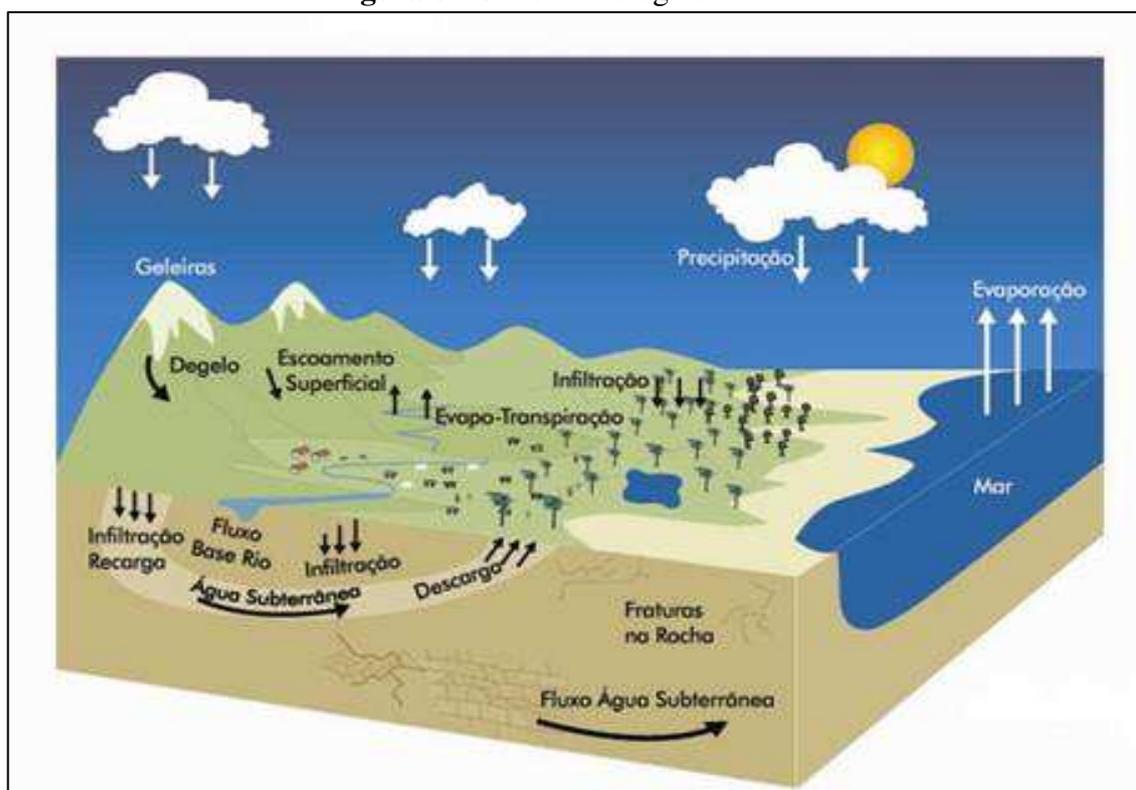
Fonte: Paz (2004).

Para Silveira (2001, p.40), “o ciclo hidrológico é normalmente estudado com maior interesse na fase terrestre, aonde o elemento de análise fundamental é a bacia hidrográfica”.

## 2.2.2 Ciclo Hidrológico

Neste tópico, discorre-se sobre a conceituação de ciclo hidrológico que é o movimento hídrico e articulação hídrica da terra, que consiste em três estados físicos: sólido, líquido e gasoso (Figura 8). De acordo com Silveira (2001, p. 35), “o ciclo hidrológico é um fenômeno global de circulação de água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado pela energia solar associada à gravidade e à rotação da terra”.

**Figura 8 - Ciclo Hidrológico da Terra**



Fonte: MMA (2014)

De modo simplificado e em conformidade ao que afirma Paz (2004, p. 7), o ciclo hidrológico pode ser descrito da seguinte forma:

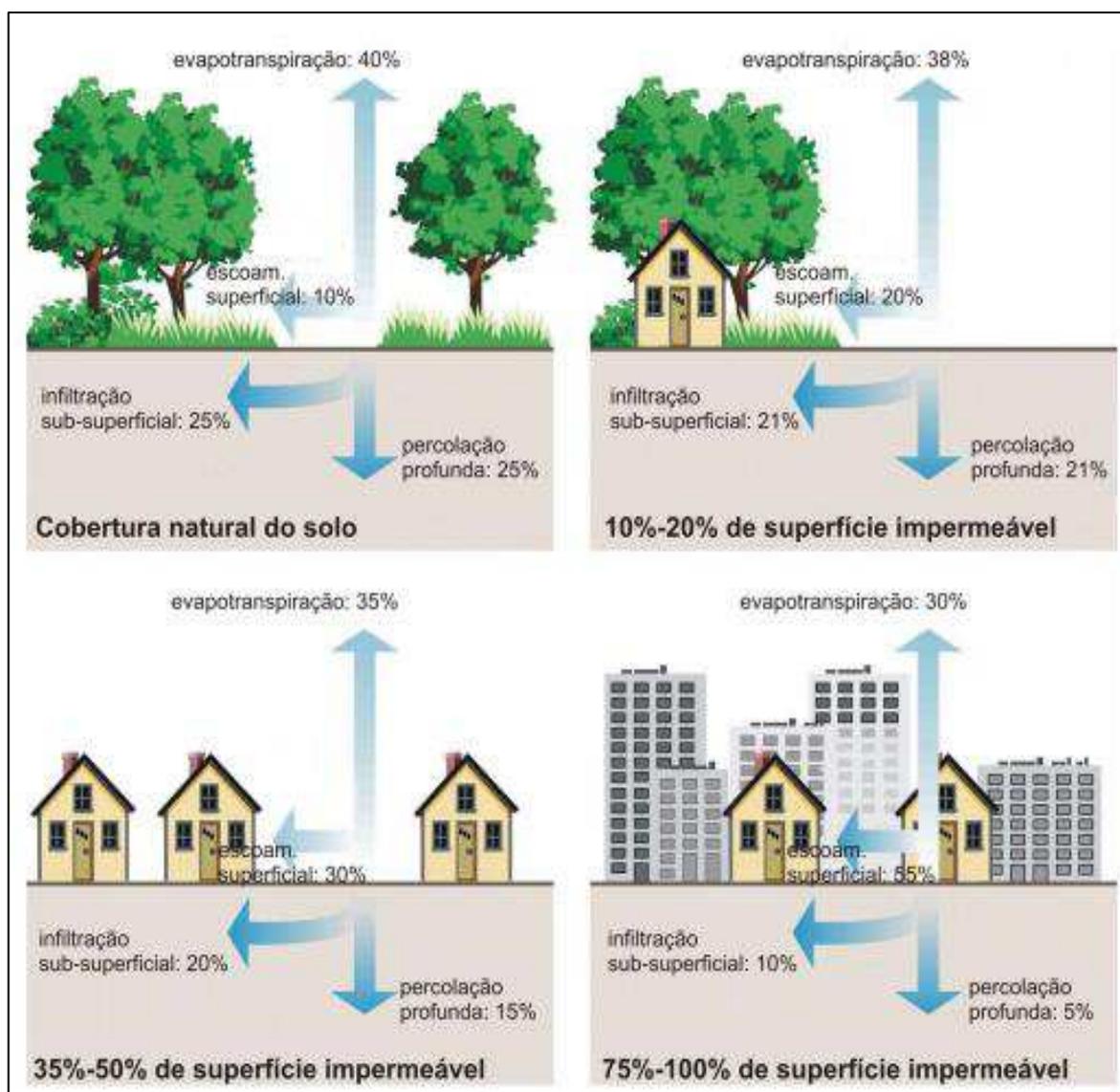
- Ocorre evaporação da água dos oceanos e formação do vapor de água;
- Sob determinadas condições, o vapor precipita na forma de chuva, neve, granizo etc. (precipitação);

- Parte da precipitação não chega nem a atingir a superfície terrestre, sendo evaporada; - boa parte da precipitação atinge diretamente a superfície de lagos e oceanos, daí evaporando parcela;
- Da precipitação que atinge a superfície terrestre, uma parte é interceptada pela cobertura vegetal (interceptação), de onde parte evapora e parte acaba escorrendo até o solo;
- Da precipitação que chega ao solo, parcela infiltra sub-superficialmente (infiltração), e desta uma parte escoam até corpos d'água próximos, como rios e lagos (escoamento sub-superficial);
- Uma parte infiltrada percola atingindo os aquíferos (percolação), que escoam lentamente até rios e lagos (escoamento subterrâneo);
- Ainda quanto à parte da precipitação que atinge o solo, esta vai escoar superficialmente (escoamento superficial), sendo retida em depressões do solo, sofrendo infiltração, evaporação ou sendo absorvida pela vegetação. O “restante” do escoamento superficial segue para rios, lagos e oceanos, governada pela gravidade;
- A vegetação, que retém água das depressões do solo e infiltrações, elimina vapor d'água para a atmosfera (transpiração), através do processo de fotossíntese;
- A água que alcança os rios, seja por escoamento superficial, sub-superficial ou subterrâneo, ou mesmo precipitação direta, segue para lagos e oceanos, governada pela gravidade.

É importante destacar o quanto ciclo hidrológico é condicionado as características locais, ou seja, modificações *in loco* esses processos de alterações modificam toda uma conjuntura local do ciclo. De acordo com Paz (2004. p. 7), “[...] é fácil perceber o quanto ele é condicionado pelas características locais, como clima, relevo, tipo de solo, uso e ocupação do solo, geologia, tipo de cobertura vegetal, rede hidrográfica (rios) [...]” podendo dentro de uma escala local ser modificado de forma significativa através das ações antrópicas.

Paz (2004), destaca que essas modificações podem ocasionar alterações no ciclo hidrológico, um exemplo é barramento de rios, que faz com que ocorra o aumentando significativamente o escoamento superficial, aumento da evaporação e aumento do nível de água no lençol freático. Outra alteração bastante perceptível é a impermeabilização do solo, que diminui a parcela de água infiltrada no solo, aumentando o escoamento superficial e por consequência ocasionado alagamentos (Figura 9).

**Figura 9** - Ilustração do efeito da urbanização sobre o ciclo hidrológico (os percentuais se referem à parcela da precipitação que “segue” cada uma das fases do ciclo)



Fonte: Adaptado e traduzido por Paz (2004).

Como exposto na Figura 9, observa-se o aumento considerável do escoamento superficial a partir da impermeabilização do solo, que passou de 10% em uma cobertura de solo natural para 55% para uma área que possui de 75% a 100% impermeabilizada.

Essa condição de impermeabilização de uma determinada área é observada na BH do rio Anil. De acordo com Cruz, Ribeiro e Pereira (2020, p. 235), “[...] é perceptível que em sua totalidade a bacia do rio Anil possui uma alta urbanização sendo que o percentual de área urbanizada com solo exposto chega a cerca de 66% de uso do solo”. O que implica em uma maior probabilidade de geração de escoamento superficial.

Para Silveira (2001, p. 37), o escoamento superficial “é impulsionado pela gravidade para as cotas mais baixas, vencendo principalmente o atrito com a superfície do solo”. Nesse sentido, entende-se que quanto maior for a declividade do terreno, maior será a força gravitacional colocada nesse escoamento.

Para controle desse escoamento os sistemas de drenagem<sup>4</sup> se tornam item crucial. Esses sistemas funcionam como um auxiliador no processo de retenção ou distribuição das águas pluviais<sup>5</sup>, Almeida (2020) relata que esses sistemas podem ser compostos de estruturas simples (que concentra apenas o básico), ou estruturas mais complexas, capaz de coletar, tratar e distribuir a água para diversos pontos distintos.

Em suma, compreende-se a importância de gerenciamento e manejo dos recursos hídricos, sobretudo no que tange a drenagem urbana. Tucci (2012) discorre que, a gestão da drenagem urbana envolve manobras de manejo do escoamento em determinado tempo e espaço:

A gestão da drenagem urbana envolve o manejo do **escoamento** no tempo e no espaço, visando a minimizar danos à sociedade e ao ambiente. A visão moderna da gestão desenvolve a integração dos recursos hídricos na bacia hidrográfica e das águas urbanas (**incluída a drenagem urbana**). (TUCCI, p. 7, 2012, grifos nossos).

### 2.2.3 Drenagem urbana

A urbanização gera alterações nos sistemas hidrológicos de uma determinada área, como por exemplo uma bacia hidrográfica. Essas modificações em espaços urbanos podem ocasionar enchentes, inundações, enxurradas e alagamentos (Quadro 2) colocando em risco a sociedade em épocas de chuva.

De acordo com Yazaki, Montenegro e Costa (2018, p.31), as ações antrópicas alteram “[...] o ciclo hidrológico natural, especialmente nas áreas urbanas [...]”. A impermeabilização do solo, a geração de resíduos sólidos<sup>6</sup> e a produção de esgotos levam ao aumento do escoamento superficial e da poluição hídrica”.

---

<sup>4</sup> De acordo com Almeida (2020, p.6) “O sistema de drenagem são estruturas instaladas em determinados locais com intuito de reter, tratar e transpor a águas pluviais”.

<sup>5</sup> Para Tucci (2012, p. 7), “Água pluvial é o escoamento resultante do excedente de água devido à precipitação que se acumula na superfície do solo”.

<sup>6</sup> De acordo com Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) foi instituída pela Lei nº 12.305/10- Resíduos Sólidos é “todo material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade”.

**Quadro 2 - Conceito de enchente, inundação, enxurrada e alagamentos**

Fenômeno	Definição
Enchente	É definida pela elevação do nível d'água no canal de drenagem devido ao aumento da vazão, atingindo a cota máxima do canal, porém, sem extravasar.
Inundação	Representa o transbordamento das águas de um curso d'água, atingindo a planície de inundação ou área de várzea.
Enxurrada	É escoamento superficial concentrado e com alta energia de transporte, que pode ou não estar associado a áreas de domínio dos processos fluviais.
Alagamento	É um acúmulo momentâneo de águas em determinados locais por deficiência no sistema de drenagem.

Fonte: Tominaga (2009).

Deste modo, o entendimento da dinâmica das águas pluviais é essencial, por conta da precipitação, já que é um elemento importante para a geração do escoamento superficial. O volume total de água precipitado ao chegar ao solo escoar de forma livre, nessa fase o escoamento superficial forma uma película laminar que vai se tornando mais espessa com o decorrer do evento de precipitação.

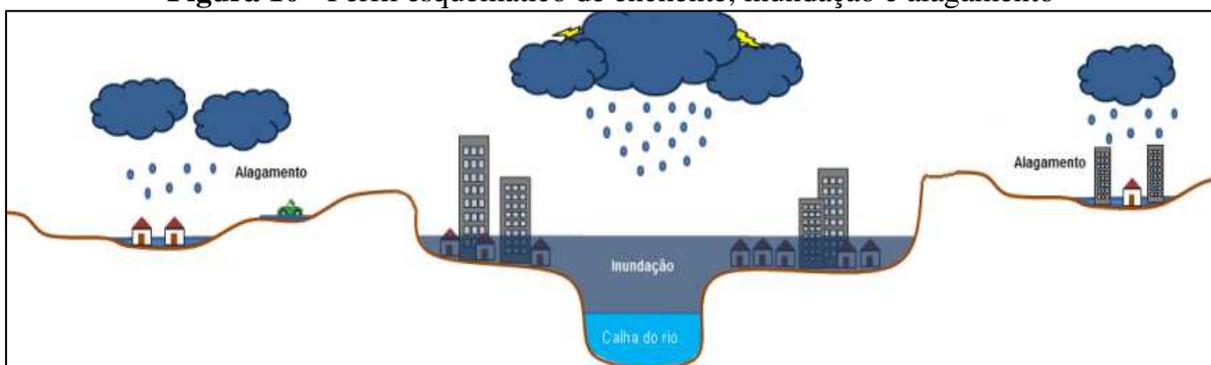
Esses fenômenos ocorrem quando há um alto índice de precipitações das águas pluviais, que ocasionam o aumento do volume de água nos canais ultrapassando o seu leito vazante e posteriormente fazendo com que a água se ultrapasse os seus leitos menores e maiores, ocasionando o transbordamento desses canais fluviais (Figura 10).

Esse processo atrelado “[...] a pressão urbana pode forçar a ocupação de várzeas e áreas próximas aos corpos de água, reduzindo a área disponível para o escoamento de vazões de cheia.” (TUCCI, 2012, p.32).

As inundações e enchentes ocorrem de forma natural, mas esse processo se torna desastroso em áreas urbanas, pois as áreas de planícies de inundações dos canais fluviais que em tese deveriam estar livres para a ocorrência desse processo natural, encontram-se ocupadas pela sociedade.

Já os alagamentos são propiciados a partir da impermeabilização do solo com a retirada da vegetação natural, ocasionando o aumento significativo do escoamento superficial, que é propiciado pela não infiltração da precipitação efetiva no solo em depressões por conta da impermeabilização do solo.

**Figura 10** - Perfil esquemático de enchente, inundação e alagamento



Fonte: Adaptado de Jacob (2014)

O desenvolvimento urbano altera e reduz a cobertura da vegetação natural. As superfícies das bacias hidrográficas tornam-se impermeabilizadas e para o direcionamento das águas das chuvas, de acordo com Tucci (2012, p. 32) “[...] são implantadas galerias de águas pluviais e canais que, mesmo resolvendo problemas de alagamentos locais, alteram profundamente o equilíbrio do ciclo hidrológico natural [...]”.

Outro fator que influencia na ocorrência desses fenômenos é a forma de relevo do terreno, assim quanto maior a declividade da vertente maior será a velocidade do escoamento na área.

De acordo com Yazaki, Montenegro e Costa (2018, p. 32 e 34 grifos nossos), destaca-se que esse processo pode ocasionar alterações no ciclo hidrológico, sobretudo no que tange o escoamento superficial, que é o objeto de estudo desta pesquisa, assim o:

Aumento do volume de **escoamento superficial** e da vazão: com a redução da infiltração e da evapotranspiração, o volume do escoamento superficial aumenta. A redução dos tempos de concentração, associada ao aumento do volume, produz o aumento da vazão.

Em suma, a compressão do escoamento pluvial se torna imprescindível para o melhoramento da drenagem urbana, visto que, a resultante desse processo pode ocasionar impactos significativos em espaços urbanos, como: enchentes, inundações, enxurradas e alagamentos.

#### 2.2.4 Escoamento Superficial

Neste item discute-se o conceito de escoamento, bem como os componentes do escoamento e os tipos, focando em escoamento superficial que é objeto de estudo desta pesquisa. Para Guimarães (2017), o escoamento é entendido quanto à sua origem, por:

- **Escoamento superficial** ou escoamento direto. Corresponde à água que atinge a rede hidrográfica escoando sobre a superfície do terreno, sem se infiltrar;
- **Escoamento subsuperficial**, hipodérmico ou intermédio. Corresponde à água infiltrada que volta a aparecer à superfície, sem ter atingido a zona de saturação;
- **Escoamento subterrâneo ou de base**. Corresponde à água infiltrada que atingiu a zona de saturação;
- **Escoamento resultante** da precipitação sobre a rede hidrográfica. A importância deste escoamento depende da densidade da rede hidrográfica.

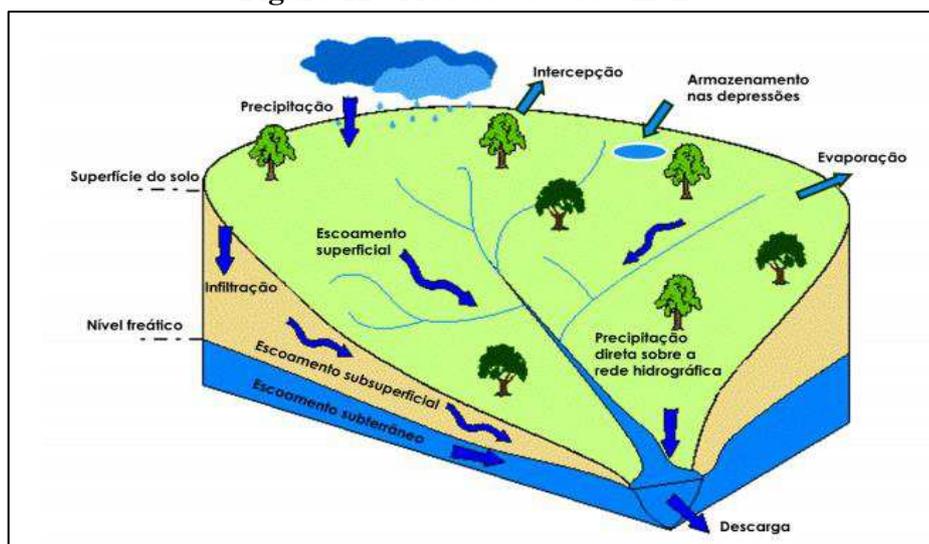
De acordo com Tucci (2001, p. 409), “o escoamento superficial é a parcela do ciclo hidrológico em que a água se desloca na superfície da bacia até encontrar uma calha definida.” O escoamento sofre significativas mudanças dependendo da área em que ocorre, como por exemplo uma bacia rural, boa parte dessa água efetuará seu processo natural de infiltração, já em uma bacia urbana esse processo é impossibilitado em sua grande parte pela impermeabilização do solo. Dessa maneira,

O comportamento do escoamento superficial direto sofre alterações substanciais em decorrência do processo de urbanização de uma bacia, principalmente como consequência da impermeabilização da superfície, o que produz maiores picos e vazões. Já na primeira fase de implantação de uma cidade, o desmatamento pode causar um aumento dos picos e volumes e, conseqüentemente, da erosão do solo; se o desenvolvimento urbano posterior ocorrer de forma desordenada, estes resultados deploráveis podem ser agravados com o assoreamento em canais e galerias, diminuindo suas capacidades de condução do excesso de água (NETO, 2009, p. 2).

Nesse sentido, compreende-se a importância da drenagem urbana, sobretudo para que haja de fato a infiltração das águas pluviais através da interferência humana com a implementação de sistemas de esgotos pluviais. O escoamento superficial (Figura 11) é, portanto, a combinação do fluxo de pequena profundidade na superfície com escoamento em pequenos canais que constituem a drenagem da bacia hidrográfica (TUCCI, 2001).

Um dos fatores que influenciam no escoamento superficial é a precipitação e uso do solo, “[...] pois quanto maior a intensidade, mais rápido o solo atinge a sua capacidade de infiltração provocando um excesso de precipitação que escoará superficialmente.” (CARVALHO; SILVA, 2006, p. 96), como ilustrado na figura 11:

**Figura 11 - Processo de escoamento**



Fonte: Guimarães (2017).

A precipitação antecedente é um fator climático importante para a análise do escoamento superficial, sobretudo por se configurar como uma causa associada à umidade do solo, ou seja, as precipitações anteriores que ocorreram na área de estudo, ocasionando assim uma maior facilidade de escoamento por esse solo está úmido. Esse processo é ocasionado quando a capacidade de armazenamento hídrico do solo é atingida.

Dentre as características fisiográficas de uma BH que influenciam no escoamento superficial, se destacam a forma, permeabilidade, a topografia da bacia e a capacidade de infiltração. Neste sentido, a aplicação de um modelo hidrológico para a estimativa do escoamento superficial se faz necessário, sobretudo para aplicação de planejamentos para evitar futuros transtornos ambientais, como enchentes e inundações.

Os modelos hidrológicos constituem importantes ferramentas que procuram representar o ciclo hidrológico na parte terrestre. Em uma determinada seção de um rio, pode-se transformar a precipitação sobre uma bacia hidrográfica em vazão (ALMEIDA, 2016, p. 13).

Partindo dessa perspectiva, a aplicação de um modelo hidrológico sobre uma bacia hidrográfica urbana, especialmente pela diversidade de seu uso e ocupação se torna necessária, por se caracterizar como uma ferramenta de planejamento ambiental eficaz para aplicação de ações mitigadoras para a drenagem urbana.

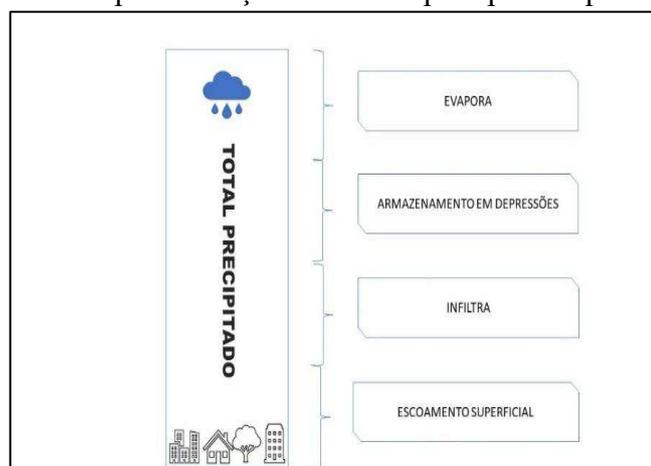
Dentre os modelos utilizados, destaca-se aqui a técnica *Curve Number (CN)* desenvolvida pelo *Soil Conservantion Servisce (SCS)*, atualmente denominado de *National Resources Conservantion Service (NRCS)*. O CN é um dos modelos hidrológicos mais utilizados em pesquisas e projetos para estimativa da impermeabilização e sobretudo do escoamento superficial, sendo esse modelo apresentado no item a seguir.

### 2.3. Técnica da pesquisa

A técnica do *Soil Consersantion Service (SCS) - Curve Number (CN)*, foi criada pelo *United States Department of Agriculture-USDA* em 1957 tendo como principal função a determinação da precipitação efetiva, que é uma parcela do total precipitado que gera o escoamento superficial.

De acordo com Decina (2012, p. 51), “[...] o método consiste na determinação da precipitação efetiva (precipitação que gera o escoamento superficial) e na transformação de chuva vazão”. O principal gerador de escoamento superficial é a precipitação efetiva, uma parte dela evapora antes de chegar ao solo, mas uma parcela dela, ao chegar ao solo, escoam superficialmente (Figura 12).

**Figura 12** - Principais “direções” do total precipitado que atinge o solo



Fonte: adaptado de Paz (2004).

A técnica foi publicada pelo manual de projetos *Urban Hydrology for Small Watersheds*, conhecido como (TR-55) no ano de 1986. O manual traz atualizações sobre a identificação das características do solo, sobretudo na identificação do tipo hidrológico do solo na aplicação da técnica.

O SCS-CN é utilizado amplamente a nível nacional e internacional, sendo sempre feitas revisões para o melhoramento e aplicação. A técnica foi denominada de SCS por ter sido elaborada pelo Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos da América - (USDA – *Soil Conservation Service*), atualmente denominada de Departamento de Agricultura do Estado Unidos da América (USDA – *United States Department of Agriculture*), sendo a sigla NRCS.

A estruturação da técnica vem sendo detalhada na publicação *National Engineering Handbook* seção 4 (*HYDROLOGY*, 1956, 1964, 1971, 1985, 1993, 2004), tendo outros autores aplicando e analisando a técnica de forma mais detalhada como: Hawkins (1993), Steenhuis *et al.* (1995), Ponce e Hawkins (1996), Tucci (2001), Aguiar, Targa e Batista (2007), Sartori (2010), (Tomaz 2011), Decina (2012), Melo e Silva (2013), Santos e Lollo (2014), Lima (2014), Almeida (2016), Alves (2016), Mota (2016) e Anjinho *et al.*, (2017), entre outros.

Dentre os autores que utilizam a técnica, encontra-se Sartori (2010). O autor fez adaptações nas classes hidrológicas do solo em sua tese, visto que, a técnica estadunidense do SCS (1972), leva em consideração características de solos americanos.

Em tese, compreende-se que mesmo que a SCS leve em consideração a textura do solo para caracterização hidrológica, apenas este parâmetro não fornece características necessárias para a tipificação hidrológica do solo.

A revisão da técnica pelo *Natural Resources Conservation Service - NRCS* em (2007), faz adaptações mais específicas para a caracterização, mas para realizá-las é preciso, de acordo com Sartori (2010, p. 11), “[...] medições de condutividade hidráulica saturada ao longo do perfil de solo”.

O autor destaca que esses dados são escassos no Brasil, e por isso elaborou uma proposta de classificação hidrológica do solo minimizando a falta desses dados, em especial pela escassez das características de condutividade hidráulica<sup>7</sup> saturada do solo, baseando-se em

---

<sup>7</sup> De acordo com Guerra e Guerra (2008, p. 153), “a condutividade hidráulica retrata a maior ou menor facilidade pela qual a água atravessa o solo. A condutividade hidráulica é também considerada a velocidade na qual a água passa pelo solo, e é expressa em metros por segundo.”

dados das propriedades dos solos disponíveis nos boletins de levantamento e classificação de solo.

Sartori (2010) obteve resultados significativos que validam a utilização de sua tabela hidrológica, demonstrando que a classificação proposta é correspondente aos tipos hidrológicos de solos brasileiros a partir da análise de 58 amostras de solos.

Outro autor que aplicou a técnica foi Lima (2014). Ele comparou a técnica do SCS com o Método Racional com o objetivo de comparar as metodologias nos dimensionamentos dos sistemas de drenagem em aeródromos.

Lima (2014, p. 6), destaca que os resultados mostram algumas incertezas nas utilizações das técnicas aplicadas. O autor destaca que foi possível “observar que, variando-se seus parâmetros, o Método SCS apresentou vazões maiores que o Método Racional ou o contrário. Devido às incertezas observadas na aplicação dos métodos e pela maior facilidade de aplicação do Método Racional [...]”. Porém o autor relata que o Método Racional deve ser apenas utilizado para bacias menores que 2 km.

Almeida (2016) aplicou a técnica do SCS-CN na bacia hidrográfica urbana do córrego Dom Bosco da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). A autora utilizou dados de uso e ocupação do solo de 2005 e 2015 e um cenário fictício de ocupação do solo, considerado por ela como adequado quanto à pavimentação e reflorestamento.

Neste sentido, Almeida (2016, p. 5) destaca que obteve os seguintes resultados com aplicação da técnica para a elaboração de hidrogramas unitários sintéticos<sup>8</sup>, em análise da evolução do uso o escoamento obteve um “[...]aumento de 92% de escoamento superficial na bacia. O cenário hipotético analisado configurou em uma diminuição de 50% de escoamento superficial se comparado ao cenário de 2015, enfatizando a necessidade de um planejamento do uso e ocupação do solo”.

Aguiar, Targa e Batista (2007) aplicaram a técnica SCS e compararam os dados com testes de infiltração realizados, CN ponderado e CN convencional. Eles aplicaram a técnica na bacia hidrográfica do Ribeirão Itaim, município de Taubaté no estado de São Paulo. A pesquisa tinha como principal objetivo estimar o escoamento superficial através da técnica do

---

<sup>8</sup> Almeida (2016, p. 5) esclarece que hidrogramas unitários sintéticos [...] tem por finalidade representar o comportamento das vazões de chuva escoada.”

SCS-CN e testes de infiltração, sendo que o valor de (S) utilizado se referiu à infiltração acumulada (Iac)

Aguiar, Targa e Batista (2007, p. 44) esclarecem que a técnica SCS-CN subestimou o “[...] o escoamento superficial na área estudada. Entretanto, é possível sua utilização desde que se promovam os ajustes para as situações locais com base em medidas prévias de infiltração em campo.”

Em suma, ao analisar resultados obtidos pela aplicação da técnica do SCS-CN, é observado que apesar deste procedimento possuir uma facilidade para aplicação, sobretudo quando não se tem dados de condutividade hidráulica como destacado por Sartori (2010), o método é utilizado para o dimensionamento de escoamento superficial, tendo resultados satisfatórios.

Mas se deve levar em conta a validação desses dados obtidos através da aplicação da técnica. Essa validação pode ser feita através dos testes de infiltração obtendo a infiltração acumulada (IAC) como Aguiar, Targa e Batista (2007) fizeram por exemplo.

No trabalho de Aguiar, Targa e Batista (2007, p. 47) foi utilizado os anéis concêntricos para estimativa do **S** que é o armazenamento potencial de água no solo. Os autores relatam que “mediu-se a infiltração acumulada (IAC) no campo pelo método de anéis concêntricos, levando-se em conta o tempo de infiltração “[...] que foi considerada como Infiltração Potencial (S).” Partindo dessa metodologia para encontrar a infiltração de água no solo, visando identificar a infiltração acumulada (IAC).

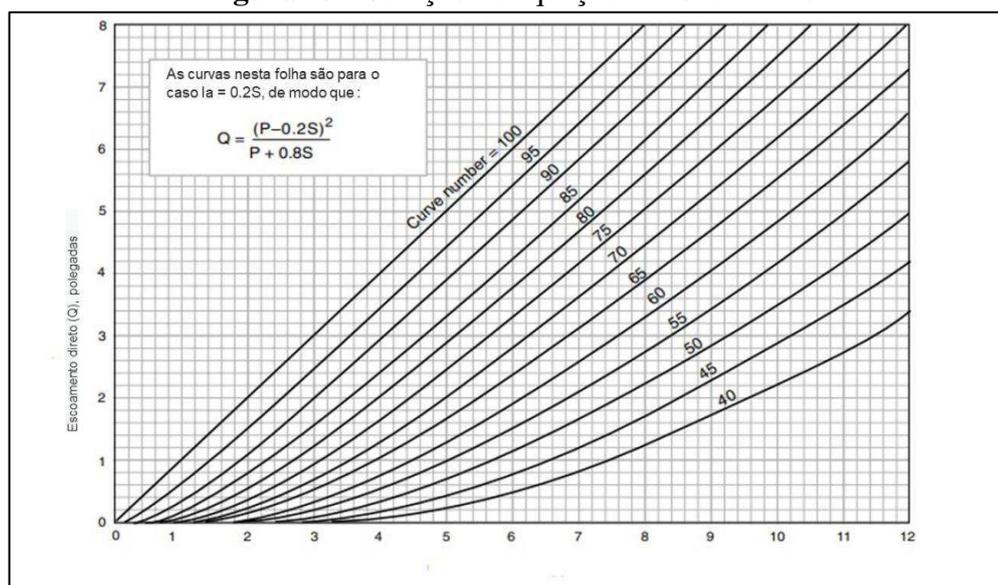
De acordo com Guerra (2010, p. 140) “a taxa de infiltração é o índice que mede a velocidade que a água da chuva infiltra no solo. Ela exerce um importante papel sobre o escoamento superficial”. A metodologia utilizada para realização dos testes de infiltração foi a descrita Guerra (2010) onde o autor elaborou adaptações para a utilização do anel de Hills (1970).

Neste sentido, visto que os autores supracitados obtiveram resultados consideráveis na aplicação em campo, esta pesquisa também utilizou testes de infiltração para a comparação do valor do escoamento superficial que se modifica de acordo com os valores obtidos em campo em relação a aplicação do SCS-CN e o teste de Infiltração.

Para aplicação da técnica SCS-CN foi necessário compreender qual é tipo hidrológico do solo, visto que o Curva-Número está condicionada ao tipo de cobertura do solo e tipo hidrológico do solo.

CN é um parâmetro adimensional que varia de 0 a 100 como observado na figura 13. Valores altos de CN, próximos a 100 representam uma condição limite de uma bacia completamente impermeável, com taxa de retenção igual a zero. Um CN baixo, próximo a zero, indica alta taxa de retenção de água, representam bacias muito permeáveis, onde não há escoamento superficial independentemente da quantidade de chuva acumulada (ANJINHO *et al.*, 2018).

**Figura 13 - Solução da equação de escoamento**



Fonte: SCS (1985).

Para Paz (2004, p. 56), “à definição do valor de CN é feita por consulta a valores tabelados, em função do tipo do solo, da umidade antecedente do solo [...], e do tipo de atividade/cobertura que é desenvolvida na bacia.”

Ao analisar a figura 13, observa-se que há uma relação direta entre CN e o aumento do escoamento superficial. De acordo com técnica do SCS para estimar o escoamento superficial é necessário ter dados de **S** que é o armazenamento potencial de água no solo (mm), que pode ser obtido através dos procedimentos descritos anteriormente nesse trabalho.

De acordo com Santos e Lollo (2016, p. 665), “ao propor a análise do uso e cobertura da terra com as características de solo, esse modelo possibilita a produção de informações sobre o escoamento superficial [...]”

Neste trabalho em questão, aplicou-se a técnica do SCS-CN para avaliar o escoamento superficial. Para validação e comparação dos resultados, foram realizados testes de

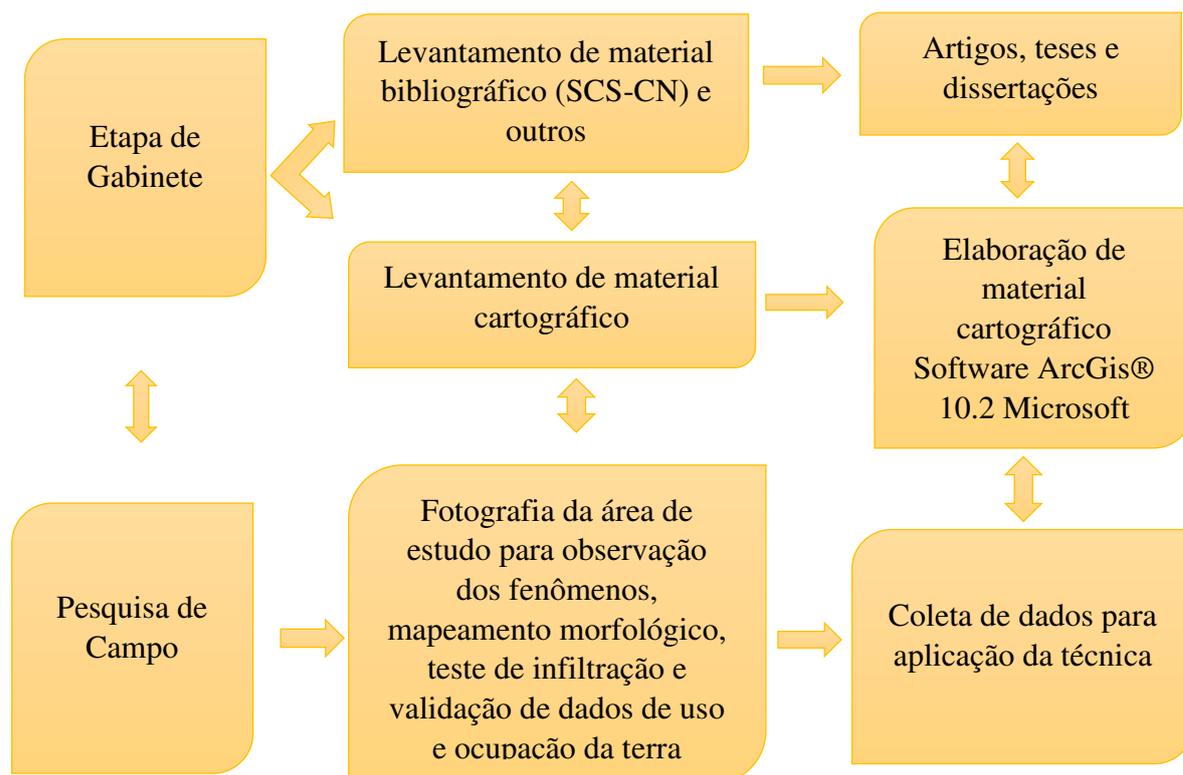
infiltração especializados dentro dos limites da área de estudo. Para os testes de infiltração, foi utilizada a técnica dos anéis de Hills (1970), adaptado por Guerra (1996), tendo em vista que SCS foi desenvolvido para solos americanos e sua atualização do SCS (2007), define características de condutividade hidráulica do solo. Com a escassez desses dados optou-se por utilizar os testes infiltração como descrito por Aguiar, Targa e Batista (2007).

Compreende-se, então, a importância da aplicação da técnica, sobretudo para um maior entendimento das características correlacionadas ao escoamento superficial, que se caracteriza como um agente de origem de enchentes e enxurradas um dos grandes problemas atuais no que tange à drenagem urbana em bacias hidrográficas, sobretudo urbanas que possuem alto índice de impermeabilização do solo.

### 3. PROCEDIMENTOS TÉCNICO-METODOLÓGICOS

Neste capítulo são descritos os procedimentos técnico-metodológicos para a realização da pesquisa, ocorridas em duas etapas: trabalho de gabinete e trabalho de campo, apresentadas na figura 14.

**Figura 14 - Fluxograma metodológico**



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

#### 3.1 Levantamento bibliográfico e cartográfico

O levantamento do material bibliográfico, foi efetuado de forma *online* através de consultas a livros, artigos, dissertações e teses. O acesso aos materiais físicos foi dificultado por conta da pandemia de COVID-19.

A pesquisa teve como principais autores estudados e referenciados: Ross (1992, 1993, 1995, 1997), Hawkins (1993), Steenhuis et al. (1995), Mota e Montovani (1998), Ribeiro Junior (1999), Silveira (2001), Tucci (2001 e 2012), Paz (2004), Souza (2005), Aguiar, Targa

e Batista (2007), Burnett (2008), Sartori (2005 e 2010), Silva (2012), Santos (2014), Santo e Lollo (2014 e 2016), (Tomaz 2011), Decina (2012), Melo e Silva (2013), Lima (2014), Almeida (2016), Alves (2016), Mota (2016) e Anjinho *et al.*, (2017), Yazaki, Montenegro e Costa (2018), Sousa (2018) e Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e Companhia de Pesquisa de Recursos Mineiras (CPRM)

### **3.2 Elaboração dos mapas temáticos**

Para a elaboração dos mapas temáticos foram empregados, o Sistema de Informação Geográfica (SIG), *software ArcGIS®* (ESRI), versão 10.2.2, licença<sup>9</sup> pertencente ao Grupo de Pesquisas em Geomorfologia e Mapeamento da Universidade Estadual do Maranhão (GEOMAP/UEMA). Visando uma melhor análise, foram inseridos nos mapas, dados inerentes a localização dos testes de infiltração, possibilitando uma análise mais coesa dos dados fisiográficos do alto curso da bacia hidrográfica do rio Anil.

#### **-Delimitação e drenagem**

No processo de delimitação do alto curso da bacia hidrográfica do rio Anil, foram utilizadas as Cartas Planialtimétricas da Diretoria de Serviço Geográfico do Exército (DSG-1980), com escala de 1:10.000, sendo as folhas 23 e 24, cartas essas, que abrangem o alto curso da bacia. Posteriormente, foram georreferenciadas e efetuado o procedimento de mosaico, para a leitura das cotas altimétricas das cartas possibilitando, assim a delimitação da bacia e posteriormente do alto curso da bacia do rio Anil, sendo delimitado a partir da intersecção das curvas de 5 metros com o canal principal.

Para elaboração vetorial da drenagem da bacia, foram utilizadas as mesmas DSG (1980), junto com imagem Maxar WV03\_VNIR (2021). Nesse processo, ocorreu o reconhecimento e validação da localização dos canais em ambiente SIG, a partir da utilização da DSG (1980), aonde foi perceptível a presença de muitos canais na área de estudo e posteriormente, analisada a Imagem Plêiade (2014), aonde, comprovou-se a existências de alguns canais através da análise da imagem.

---

<sup>9</sup>Licença *software ArcGIS®* (ESRI)- EFL999703439.

### **-Solos e compartimento do relevo**

Para o mapa de solos foi utilizada a base de dados de Silva (2012), a autora utilizou o Maranhão (1998), em uma escala de 1:100.000, os dados de solos foram elaborados a partir das normas estabelecidas Centro Nacional de Pesquisa de Solos - CNPS (EMBRAPA, 1996).

Silva (2012) realizou ajustes, levando em consideração o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, publicado pela Embrapa (1999), adequando a escala para 1:60.000. Neste sentido, elaborou-se um novo ajuste visando atender o recorte da área de estudo, sendo analisado o material em uma escala de 1:10.000, deste modo, foi feito um recorte a partir da delimitação do alto curso da bacia do rio Anil, por meio da ferramenta *clip* no ambiente SIG na shape de 1:60.000.

Para o mapa de solos, foi empregado as cores da conversão de níveis 1° e 2° categóricos da SiBCS, para cartas de solos (RGB), disposto no Manual Técnico de Pedologia, IBGE (2015), sendo realizado apenas uma adequação na classe de Neossolos, tendo em vista que, a cor aplicada não ficou em conformidade com *Layout* do mapa citado.

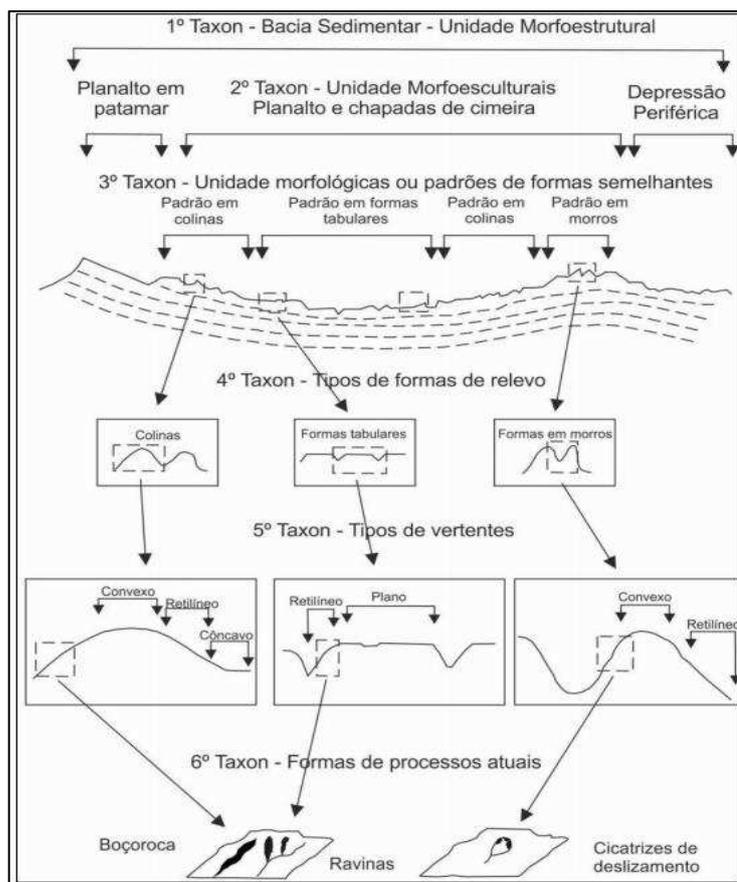
Em relação ao mapa de compartimentos do relevo foi utilizado Silva (2012), porém, por conta da escala de trabalho de 1:60.000, foi necessário utilizar a ferramenta clip no software ArcGis® para efetuar o corte da *shape*.

Para o mapeamento dos compartimentos do relevo da área de estudo, utilizou-se a metodologia de Ross (1992, 1993, 1995, 1997), como observado na figura 15. O autor supracitado baseou-se na metodologia de Guerasimov (1946) e Mecerjakov (1968), a metodologia aplicada utiliza a classificação a partir do táxon, sendo classificados em 6.

Neste sentido, a presente pesquisa realizou o mapeamento a partir de Silva (2012), que mapeou a Ilha do Maranhão em uma escala de 1:60.000 no táxon 4°, e para o mapeamento táxon 5°, foi realizado em escala de 1:10.000, para a localização de morrotes na área de estudo, partindo das curvas de níveis de 5 em 5.

Para o táxon 6°, utilizou-se a base de dados de ANA e CPRM (2018), no projeto intitulado “Estudos Hidrogeológicos da Região Metropolitana de São Luís: Subsídio para o uso sustentável dos recursos hídricos” em parceria com Agência Nacional de Águas (ANA) e Serviço Geológico do Brasil (CPRM), aonde foram localizados processos atuais. Faz-se necessário destacar que foram realizados campos para a validação de dados alocados nas bases utilizadas.

**Figura 15 - Unidades taxonômicas do relevo**



Fonte: Ross (1992).

Para identificação das demais formas de relevo: tabuleiros e planície fluvial, foi utilizada a base de dados de Silva (2012), sendo realizados campos para a verificação das informações inerentes a essas formas de relevo. Em suma, foram feitos ajustes na base visando atender a realidade sobretudo em decorrência da escala.

#### - Curvatura do terreno

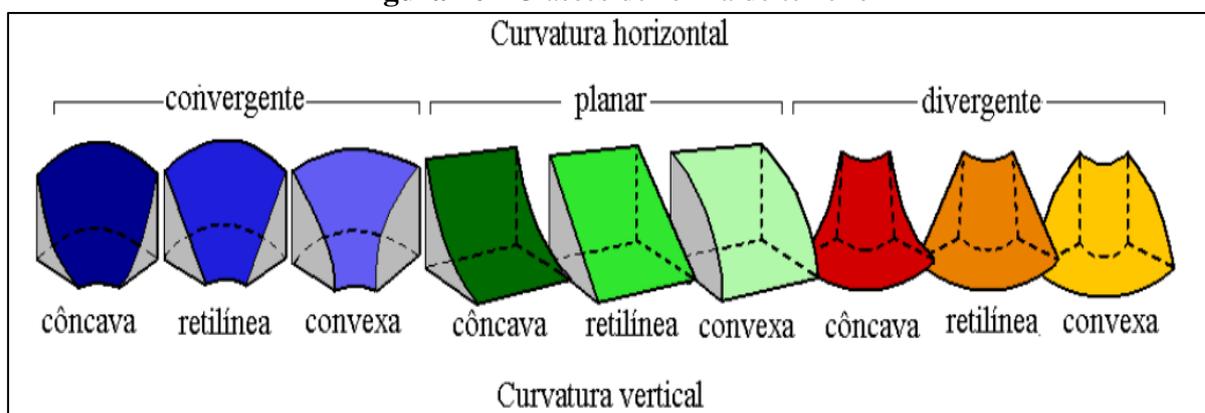
Para a elaboração do mapa de curvatura do terreno, foi utilizado o TIN elaborado a partir das curvas de nível de 5 em 5 metros das Cartas Planimétricas da Diretoria de Serviço Geográfico do Exército (DSG), sendo estas posteriormente transformadas em *raster*, essa etapa, ocorreu com os seguintes comandos: *Arctoolbox – 3D analyst tools – conversion – from TIN – TIN to raster*.

Posteriormente, foi transformada o *raster* em formato estático: (*Arctoolbox – Spatial analyst tools – Neighborhood – focal statistics*). Para o procedimento de divisão estatística do raster foram realizadas as etapas: *Spatial analyst tools – Map algebra – raster calculator*, esse procedimento é realizado para apresentar a forma e elevação. Partindo desse processo, foi dado início ao procedimento de geração da curvatura do terreno em perfil plano, para essa etapa foram feitos os seguintes processos: *Arctoolbox – Spatial analyst tools – Surface – Curvature*.

A etapa seguinte foi a reclassificação dos arquivos do perfil plano, com os seguintes comandos: *Arctoolbox – Spatial analyst tools – Reclass – Reclassify*. Posterior a esse procedimento ocorreu o processo estatístico para elaboração das vertentes tendo as seguintes etapas: *Spatial analyst tools – Map algebra – raster calculator*, sendo realizada a soma na calculadora dos arquivos *plan\_class e prof\_class*, salvando o arquivo com o nome vertentes.

No arquivo vertente, criou-se dois *fields* na tabela de atributos, um com o nome vertentes e outro com o nome formas, sendo posteriormente classificado de acordo com a metodologia adotada (VALERIANO, 2008), como observado na Figura 16.

**Figura 16 - Classes de forma de terreno**



Fonte: Valeriano (2008).

Por fim, foram estabelecidas nove classes de terreno, sendo as formas de terreno a junção da curvatura vertical e curvatura horizontal. A curvatura vertical abrange as formas côncavas, retilíneas e convexas, enquanto a curvatura horizontal: convergente, planar e divergente de acordo com Valeriano (2008).

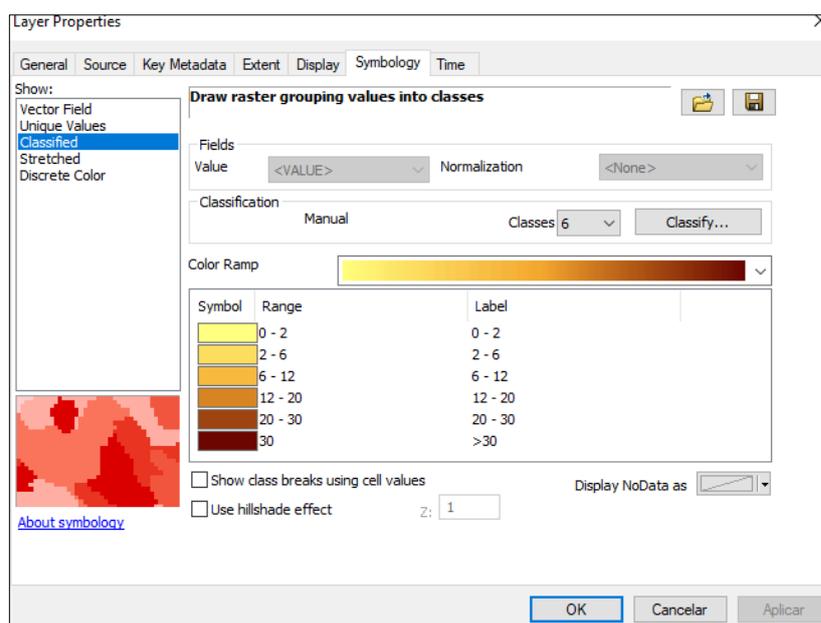
Tendo em vista, a proposta de cores para as vertentes descritas por Valeriano (2008), sendo empregado a cor azul para as convergentes, verdes para planar e vermelho para

as divergentes, optou-se em seguir as considerações das convenções geográficas, empregando a cor azul para água e estabelecendo outras cores para melhor leitura do mapa.

### - Hipsometria e declividade

Para a elaboração dos mapas de hipsometria e declividade foram utilizadas as curvas de nível de 5 em 5 metros das Cartas Planimétricas da Diretoria de Serviço Geográfico do Exército (DSG), alinhados à base de elevação *Missão Topográfica Radar Shuttle (SRTM)*, utilizada com sombreamento para melhor leitura das cotas. Em seguida, gerou-se o Modelo Digital de Elevação- MDE, elaborado em ambiente SIG. As etapas foram: *ArcToolbox – Data Management – TIN – Creat Tin*, após esse processo empregou-se a divisão das classes de altimetria no *Symbology*, sendo empregadas as cores do mapa e classes de altimetria que foram seis (Figura 17).

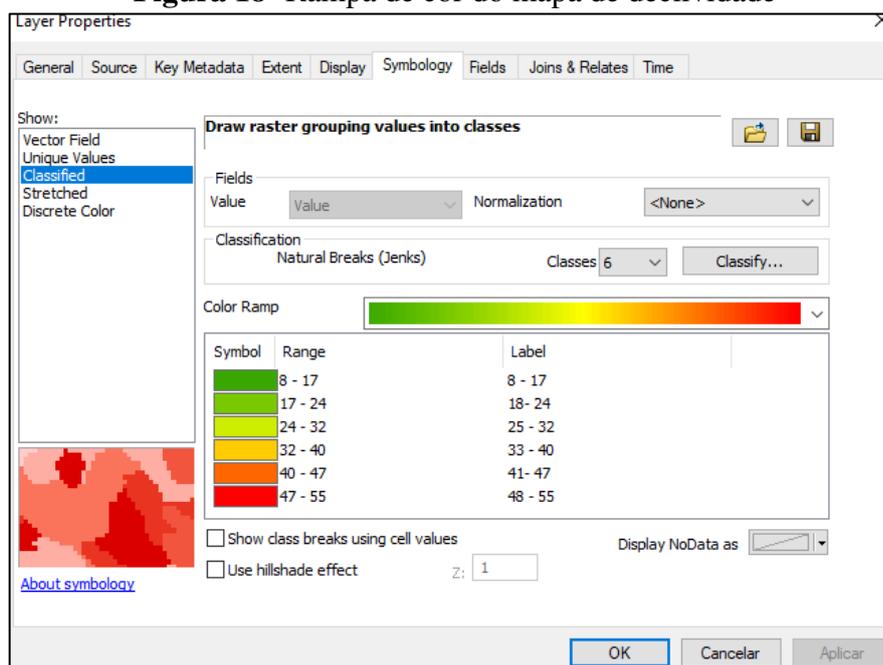
**Figura 17 - Rampa de cor do mapa de hipsometria**



Fonte: ArcGIS® (ERSI).

O mapa de declividade foi produzido a partir do MDE de hipsometria. Posterior a esse procedimento extraiu-se a declividade do terreno, para o mapa de declividade e hipsometria foram utilizadas a seguinte rampa de cor (Figura 18).

**Figura 18** -Rampa de cor do mapa de declividade



Fonte: ArcGIS® (ERSI).

### - Uso e cobertura da terra e impermeabilização

O mapa de uso e cobertura da terra foi elaborado a partir da imagem de satélite Sentinel-2 (*European Space Agency-ESA*), do dia 20 de agosto de 2021, com resolução de 10 metros, sendo escolhida essa imagem, em virtude da melhor visualização propiciada pela não ausência de nuvens em virtude deste mês ser de estiagem na Ilha do Maranhão. Para melhor análise do uso e ocupação da área foi escolhida a combinação das bandas Red B4, Green B3 e Blue B2 (RGB).

Para enquadramento da escala da imagem na área de estudo, foi efetuado o *Clip Raster* para recorte da imagem com limite do alto curso do rio Anil. Posterior a isso, foi realizado o procedimento de Máxima Verossimilhança (MAXVER).

De acordo com Crosta (1999, p. 120), o procedimento (MAXVER) “[...]considera a ponderação das distâncias das médias utiliza parâmetros estatísticos e denomina-se método da máxima verossimilhança (em inglês, “*maximum likelihood*”)”. Neste sentido, o procedimento identificou através da amostra do *pixel* coletado, a verossimilhança, classificando cada *pixel* de acordo com a classe/cor para tipo de uso identificado.

O mapa de uso e cobertura da terra foi elaborado a partir da proposta IBGE (2013), com adaptações consideradas necessárias. As classes áreas urbana e área vegetada foram identificadas pelas cores sugeridas pelo Manual Técnico de Uso da Terra (Figura 19). É importante destacar que o manual supracitado não possui uma coloração para classe de área vegetada como utilizado no mapa de uso, porém optou-se por utilizar o tom de verde proposto pelo manual para áreas de vegetação natural – Florestal, sendo denominadas no mapa de uso como áreas vegetadas.

**Figura 19** - Cores utilizadas para a classificação do uso

Florestal			Área Urbanizada		
3.1			1.1		
C = 55	M = 79	R = 115	C = 0	M = 344	R = 255
M = 34	S = 100	G = 168	M = 34	S = 34	G = 168
Y = 100	V = 66	B = 0	Y = 25	V = 100	B = 192
K = 0			K = 0		

Fonte: IBGE (2013).

Para as demais classes de uso, foram escolhidos amarelo, para solo exposto e roxo para área comercial. Em relação a classe de área comercial, foi aplicado a visualização de grandes galpões através da imagem Sentinel-2, tendo em vista que foi conformado a utilização desses espaços para o desenvolvimento dessas atividades, partindo disso observou-se que em sua grande maioria possuem tetos em cor branca ou cinza, sendo reconhecido esse pixel para a escolha das áreas comerciais, que em suma na área de estudo são área de atividades de varejo e oficinas e venda de produtos automotivos.

Faz-se necessário destacar que em decorrência da resolução da imagem Sentinel-2 de 10 metros, não foi possível detectar outros tipos de uso, apesar de tratamentos realizados na imagem para seu melhoramento. Em suma, foram observadas as seguintes classes de uso: áreas urbanas, áreas vegetadas, solo exposto e áreas comerciais (Quadro 3).

**Quadro 3** - Quadro de classificação do uso da terra do alto curso do rio Anil

USO	AMOSTRAR DO PIXEL COLETADO	COR UTILIZADA
Área urbana		
Área vegetada		
Área comercial		
Solo exposto		

Observação: Tendo em vista, a resolução da imagem utilizada em ambiente SIG, observa-se os pixels estourados demonstrado a dificuldade para classificação de outras classes como citado anteriormente.

Fonte: Dados da própria pesquisa (2021).

Para a elaboração do mapa de impermeabilização da área de estudo, utilizou-se, a imagem do ano de 2021, partindo da base do uso e cobertura da terra, sendo unidas as classes de área urbanizada e área comercial como impermeabilizados e solo exposto com área vegetada como permeáveis. Em relação a cor utilizada no mapa, foi empregada a cor amarela para permeável e cinza para impermeável, sendo essas cores aplicadas comumente para a retratação desse tipo de mapa.

### **-Curve Number e Escoamento superficial**

Para a elaboração dos mapas de CN e escoamento superficial, foi aplicada a técnica do SCS-CN e teste de infiltração. Neste sentido, seguiu-se duas etapas para a obtenção dos dados inerentes aos respectivos mapas.

A primeira etapa foi seguindo padrão estabelecido pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América (USDA), comumente utilizada por diversos autores supracitados anteriormente. Nessa etapa, foram coletados valores dos parâmetros necessários para caracterização do CN e posteriormente do escoamento superficial.

## - Classificações Hidrológicas do Solo

Para identificar o CN da área de estudo, foi necessário identificar o tipo hidrológico do solo, partindo da base cartográfica já elaborada com o mapa de solo, deste modo a classificação deu-se por intermédio da base já elaborada, sendo apenas utilizado o Anexo A, a caráter de comparação e não de classificação, tendo em vista que os dados já haviam sido espacializados por autores como Silva (2012).

Neste sentido, o SCS elaborou uma tabela com o tipo hidrológico do solo de acordo com a capacidade que o solo tem de armazenamento de água, como observado na adaptação de Melo e Silva (2013) na tabela 1.

Tendo em vista, o conhecimento dos tipos de solo no alto curso da bacia hidrográfica do rio Anil, foi possível identificar no primeiro momento o grupo hidrológico do solo, seguindo a tabela anteriormente mencionada. Os grupos hidrológicos da área de estudo foram classificados como B e D.

**Tabela 1 - Tipos Hidrológicos de Solo**

<b>TIPO</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
<b>Grupo A</b>	Solos que produzem baixo escoamento e alta infiltração. Enquadram-se nesse grupo hidrológico, solos muito profundos (> 2,0m), com alta permeabilidade. Os Latossolos Vermelhos e Vermelho-Amarelo podem ser enquadrados nesse grupo.
<b>Grupo B</b>	São menos permeáveis do que os solos do grupo A, ou seja, apresentam um maior potencial em gerar escoamento. Argissolos e alguns Latossolos com horizonte A arenoso e B mais adensado podem ser enquadrados nesse grupo.
<b>Grupo C</b>	Solos que geram escoamento superficial direto superior aos solos do grupo B. São solos moderadamente profundos (0,5 a 2,0 m), com baixa permeabilidade superficial e baixa resistência à erosão; alguns solos com B textural e Cambissolos se enquadram nesse grupo.
<b>Grupo D</b>	Solos pouco profundos, com baixa capacidade de infiltração e presença de argilas expansivas, tendo assim uma alta capacidade para a geração de escoamento. São solos com a camada de impedimento próximo ao horizonte A, sem horizonte B definido, e com alta vulnerabilidade à erosão. Neossolos Litólicos e alguns Cambissolos podem ser exemplos desse grupo hidrológico.

Fonte: Mello e Silva (2013) / Elaborado e adaptado Cruz (2021).

### - Identificação do CN

Após a identificação do grupo hidrológico do solo presente na área de estudo, usou-se a tabela 2, para bacias urbanas e suburbanas, conforme Tucci (2001), e posteriormente a escolha do respectivo CN correlacionado o tipo hidrológico do solo e o uso do mesmo na área de estudo. Para tal, utilizou-se a base cartográfica do uso e ocupação já elaborada cruzando-lhe com o grupo hidrológico. Esse procedimento foi feito com um clip do *shape* de solo, com o *shape* de uso e ocupação da terra, sendo posteriormente inseridos na tabela de atributos em ambiente SIG os valores CN encontrados a partir da análise da tabela 2. Para o mapa de CN foi empregado 6 classes como observado na figura 20, a partir da classificação dos dados de acordo com o agrupamento da tabela de atributos.

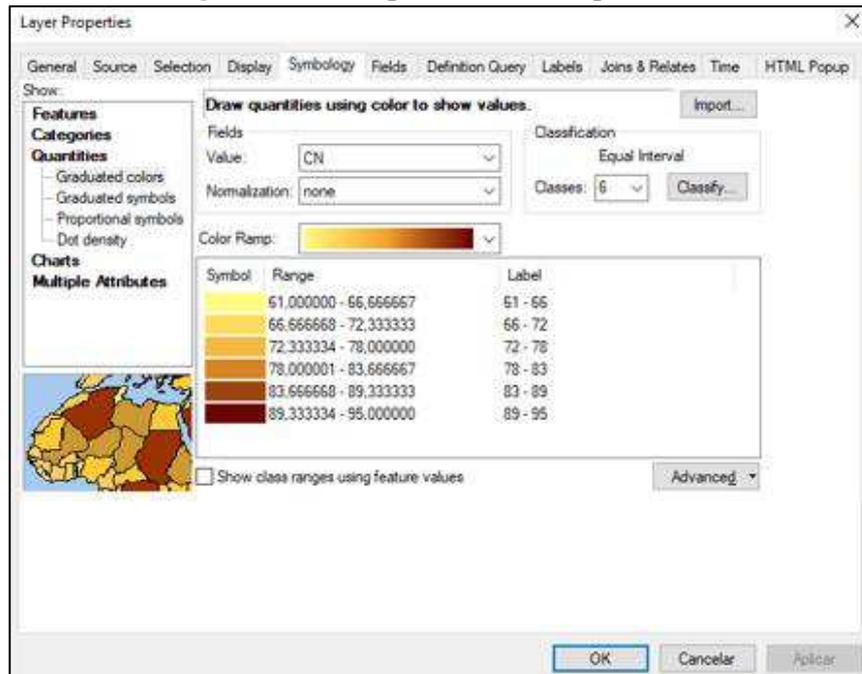
**Tabela 2 - Valores de CN para bacias Urbanas**

Utilização ou uso e cobertura do solo		A	B	C	D
Zonas cultivadas:	Sem conservação do solo	72	81	88	91
	Com conservação do solo	62	71	78	81
Pastagens ou terrenos em más condições		68	79	86	89
Baldios	Boas condições	39	61	74	80
Florestais:	Cobertura boa	25	55	70	77
Espaços abertos, relvados, parques, cemitérios, boas condições	Com relva em mais de 75% da área	39	61	74	80
	Com relva de 50 a 75% da área	49	69	79	84
Zona Comercial		89	92	94	95
Zona Industrial		81	88	91	93
Zonas Residências					
Lotes de (m <sup>2</sup> ) % média impermeável					
<500	65	77	85	90	92
1000	38	61	75	83	87
1300	30	57	72	81	86
2000	25	54	70	80	85
4000	20	51	68	79	84
Parques de estacionamento, telhados, viadutos, etc.		98	98	98	98
Arruamentos e estradas					
Asfaltadas e com drenagem de águas pluviais		98	98	98	98
Terra		72	82	87	89

Fonte: Tucci, (2001) / elaboração e adaptação Cruz, (2021).

É importante destacar, que a técnica possui diversas classificações, então é proposto por estudos o uso de uma tabela mais simplificada para uma leitura mais uniforme do CN da bacia, sobretudo, em relação aos valores atribuídos para a classes de uso presentes na área de estudo, partindo da tabela 2. Sendo considerado para o uso urbano a maior metro quadrado proposto pela tabela, tendo em vista que a área urbana da bacia é extremamente adensada, desta forma consideraram-se 65 %.

**Figura 20 - Rampa de cor do mapa de CN**



Fonte: ArcGIS® (ERSI).

### Armazenamento potencial de água no solo

Após identificar o CN, foi possível estimar o armazenamento potencial de água no solo (S), que de acordo com a técnica é essencial para identificar o escoamento superficial. Neste sentido, para à elaboração do mapa de escoamento superficial, se fez necessário, a aplicação da equação 1 seguindo a técnica do (SCS) que visa identificar o S que é o armazenamento potencial de água no solo (mm).

(Equação 1)

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

Para resolução da equação 1 foi necessário alocar os dados de CN encontrados na área da pesquisa, dados estes, encontrados com o agrupamento do grupo hidrológico e do tipo de uso da BH. Os valores de CN, foram alocados na equação sendo gerado o armazenamento potencial de água no solo (S).

### Umidade Antecedente

Após identificar o potencial de armazenamento da água solo, se fez necessário analisar a umidade antecedente para a elaboração do mapa de escoamento superficial. A identificação do tipo do grupo de solo e do tipo de uso e cobertura da terra é essencial para utilização da equação 1. Desta maneira, a técnica definiu três condições de umidade antecedente do solo (AMC I, II e III), com base na precipitação total ocorrida nos 5 dias antecedentes ao evento estudado (Tabela 2). As condições consideradas são as seguintes de acordo com a adaptação de Melo e Silva (2013):

**Tabela 3 - Umidade Antecedente**

<b>Grupo Hidrológico dos Solos</b>	<b>IB mm.h-1</b>
A	8,0
B	4,0 < IB < 8,0
C	1,0 < IB < 4,0
D	< 1,0

Fonte: Melo e Silva (2013) / Elaborado e adaptado Cruz (2021).

Após definir os valores de (S) é necessário para elaborar o mapa de escoamento superficial, analisar um evento chuvoso. Para tal, identificou-se a maior precipitação ocorrida no ano de 2021, para estimativa do escoamento superficial deste valor. A escolha da maior precipitação de 2021, se justifica partindo da escolha da imagem do mesmo ano, sendo analisada a precipitação de 139,4 ocorrida no dia 15/03/2021.

### Escoamento Superficial

Para a elaboração do mapa de escoamento superficial utilizou-se a equação 2, que é empregada para identificar o (Q), que representa o escoamento superficial. A técnica propôs

uma relação linear entre as variáveis  $S$  e  $Ia$ , estabelecendo o valor  $Ia$ , igual a 0,2 e para tal situação a substituição de  $Ia$  como exposta a seguir na equação 2:

(Equação 2)

$$Q = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S}$$

Em que:

**Q** é o escoamento superficial direto (mm);

**P** é a precipitação total (mm);

**S** é o armazenamento potencial de água no solo (mm).

**Ia** é a abstração inicial (mm), representado por 0,2 e 0,8.

Para compreensão da equação 2, foi necessário especificar algumas informações,  $Ia$  é a abstração inicial <sup>10</sup>, que representa todas as perdas que ocorrem antes da água chegar ao solo, antes que ocorra o escoamento superficial de fato, ou seja, antes que a precipitação chegue ao solo, existe uma perda inicial denominada  $Ia$ , que representa 20% da capacidade máxima de  $S = S^* - Ia = 0,2 S$ .

Neste sentido, compreende-se que resta 0,8 que representa 80% da precipitação total que poderá infiltrar ou escoar. É importante destacar, que o valor de  $Q$  só é válido quando o mesmo é maior que 0,2 caso contrário escoamento superficial será igual a 0.

Partindo da compreensão dessas informações iniciais, a etapa seguinte foi aplicar os dados da área de estudo iniciando pela equação 1.

A resolução da equação 2 foi feito inserindo nela os dados do evento chuvoso ( $P$ ), posteriormente, foi inserido na equação o valor de ( $S$ ) e os respectivos valores de abstração inicial ( $Ia$ ), que na parte superior da equação é de 0,2 e na inferior, 0,8.

Após a realização desse processo obteve-se o valor de escoamento superficial ( $Q$ ) na área de estudo e posteriormente a elaboração do mapa de escoamento. Os valores tanto do  $CN$  e de  $Q$ , vão mudar sempre que forem inseridos dados diferentes de uso e cobertura da terra, tipos do solo ou precipitação.

---

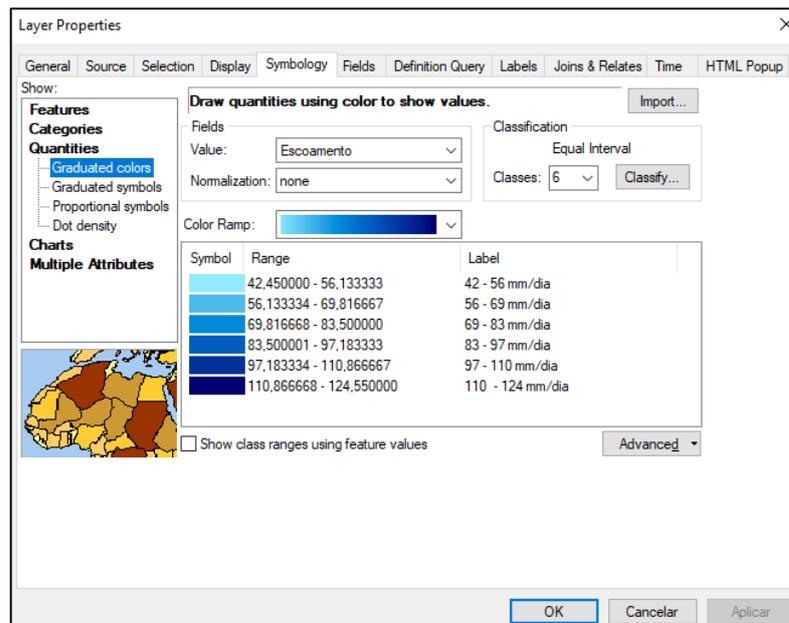
<sup>10</sup> De acordo com Sartori (2010, p. 52) “a abstração inicial pode ser entendida como a quantidade da chuva necessária para iniciar o escoamento superficial.”

Com a identificação dos valores de (P) e (S) na equação 2 foi realizada a estimativa do escoamento superficial. Esse processo foi efetuado 4 vezes para cada tipo de uso, sobretudo, para compreender como o escoamento superficial se comportou com a maior precipitação do ano de 2021, com as características de solo e cobertura do alto curso da bacia como relatado anteriormente.

Deste modo, ao obter as taxas de escoamento superficial com a resolução da equação 2, foi utilizada o mesmo *shape* resultante do *clip* do mapa de *curve number*, sendo inseridos os valores obtidos através da aplicação da equação 2 de acordo com tipo de ocupação e solo da área de estudo, bem como, a precipitação estuda. Deste modo, os valores gerados foram alocados na tabela de atributos, sendo estes dados alocados em uma coluna denominada de escoamento superficial.

Após esse processo, utilizou-se a ferramenta *Symbology* para a classificação das taxas de escoamento, posteriormente foi selecionado em ambiente SIG a ferramenta *Symbology – Show – Quantities – Graduated colors*, sendo inserido em *Draw quantities using color to show values*, na aba *Value* os dados inerentes as taxas de escoamento obtidos com a técnica convencional, em *classification* foi selecionado *Equal Interval* e em *classe* colado 6 classes como observado na figura 21.

**Figura 21** -Rampa de cor do mapa de escoamento superficial convencional



Fonte: ArcGIS® (ERSI).

## Escoamento superficial com testes de infiltração

O mapa de escoamento superficial, com os testes de infiltração foi elaborado a partir dos dados de infiltração acumulada, sendo essa taxa posteriormente transformada em escoamento superficial. Essa etapa, foi realizada seguindo proposta estabelecida por Aguiar, Targa e Batista (2007), para elaborar o mapa de escoamento superficial com os testes de infiltração.

Os autores supracitados, substituíram os valores de (S) por valores encontrados nos testes de infiltração, denominada de infiltração acumulada-Iac. Portanto, não foi necessário estimar este valor com equação 1, sendo automaticamente estabelecido o valor de (S) com o teste de infiltração na equação 2.

Deste modo, utilizou-se o infiltrômetro de *Hells*, para alcançar a taxas de infiltração acumulada. Para tal, realizou-se 40 testes de infiltração no alto curso da bacia hidrográfica do rio Anil, São Luís/ Maranhão. As taxas geradas com esses testes, foram considerados como de Potencial (S) substituindo a equação 1 na técnica convencional. Os testes foram realizados na etapa do campo, sendo descritos os procedimentos no tópico trabalho de campo na presente dissertação.

Para calcular os valores de Iac, Guerra (2010) estabeleceu uma equação para alcançar os valores de infiltração da água no solo com infiltrômetro, de acordo com o autor deve-se utilizar a seguinte equação 3:

Equação 3:

$$V = \pi * r^2 * h$$

Deste modo, as taxas alcançadas no trabalho de campo foram alocadas na ficha de campo (Apêndice A), e posteriormente calculados os valores na etapa de gabinete. Para gerar valor de Iac em mm, foi necessário realizar adaptações para calcular a infiltração acumulada, sobretudo em virtude os valores obtidos através da aplicação da equação 3, que é dada em mililitros (ml). Para calcular a infiltração acumulada (Tabela 4) foi realizada a somatória do valor da diferença respectivamente, para obtenção da infiltração acumulada em centímetros (cm). Após obter os resultados da infiltração acumulada, foi transformado em milímetros (mm), para adequa-se o valor obtido para substituição da equação 1 e aplicação desse valor como (S) na equação 2.

**Tabela 4** - Exemplo de como foi realizado o cálculo de infiltração acumulada em mm/min

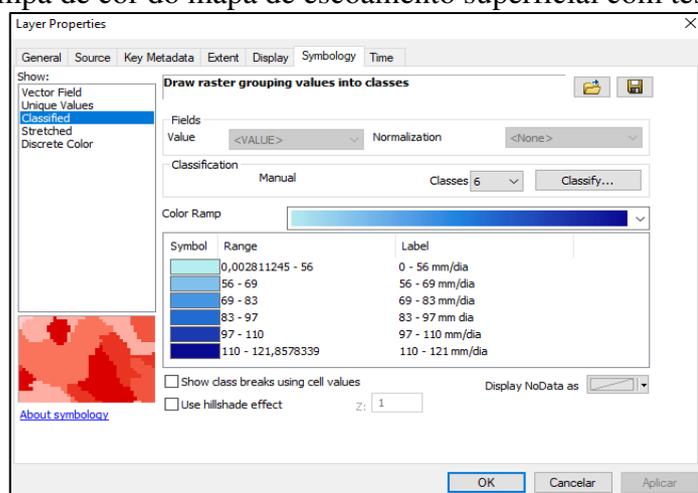
Intervalo de tempo (min)	Tempo acumulado (min)	Leitura da régua (cm)	Diferença da régua (cm)	Infiltração acumulada (cm)	Infiltração acumulada em (mm)
0	0	10	0	0	0
1	1	9,2	0,8	0,8	8
1	2	8,3	0,9	1,7	17

Fonte: Dados da própria pesquisa (2021).

Esse procedimento, foi realizado nos dados relativos aos 40 testes de infiltração para encontrar o valor da Iac em (mm). Esses valores obtidos foram considerados como o armazenamento potencial de água no solo S. Após realizar essa etapa, foi possível calcular o escoamento superficial com os testes de infiltração e gerando o mapa de escoamento com os testes.

A técnica utilizada para elaboração deste mapa, foi a *Inverse Distance Weighted* (IDW) no software ArcGis, que prediz o valor para uma localidade utilizando dados amostras a sua volta. De acordo com Jakob e Young (2006, p. 8) a técnica usará valores amostrais a sua volta, compreendo então que “[...] terão um maior peso do que os valores mais distantes, ou seja, cada ponto possui uma influência no novo ponto, que diminui na medida em que a distância aumenta, daí seu nome”.

O IDW foi empregado no ArcGis, sendo gerado o mapa de forma automática partindo da espacialização dos 40 testes na área do alto curso do rio Anil. Posteriormente os dados foram classificados em 6 classes de escoamento (Figura 22).

**Figura 22** - Rampa de cor do mapa de escoamento superficial com testes de infiltração

Fonte: ArcGIS® (ERSI).

Posteriormente foi realizada a comparação desses valores com os valores obtidos através da aplicação da técnica do SCS, considerando, o dado da maior precipitação de 2021.

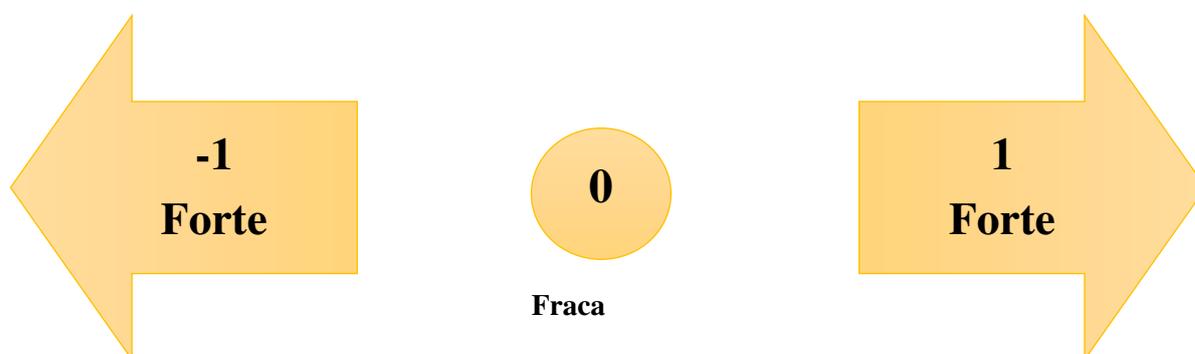
Neste sentido, serão analisadas de duas formas o aumento do escoamento superficial, sendo a primeira a partir do CN para encontrar o S da equação e a outra a partir da Infiltração acumulada a partir dos testes, que substituirá o S na equação 2 para a determinação do Q.

### 3.3 Análise estatística e elaboração da matriz de correlação

Considerando o número significativos de informações geradas com a presente pesquisa, optou-se por realizar uma análise estatística baseada no coeficiente de correlação de Spearman (1961). O teste estatístico tem por finalidade avaliar a correlação de duas variáveis, no caso de Spearman podendo haver uma não distribuição normal.

A correlação pode variar em uma escala de -1 a 1, sendo considera uma correlação positiva forte se atingir 1 e negativa forte se atingir -1 (Figura 23). A correlação negativa, indica uma correlação inversamente proporcional, ou seja, o aumento de uma variável incide na diminuição de outra variável.

**Figura 23** - Valores da correlação



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2022).

Para a avaliação da correlação existente nos valores de escoamento superficial obtidos na presente pesquisa, foi utilizado o software Jamovi project (2021/Versão 2.2), partindo da matriz de correlação de Spearman (1961). Os dados obtidos possuem como variável independente dados qualitativos nominais, como: tipo hidrológico do solo e tipo de uso, e como variável dependente dados quantitativos, como: escoamento superficial.

Para melhor análise dos dados no Jamovi foi empregado pesos para os tipos de dados qualitativos nominais, como tipo de solo e tipo de uso, havendo nestes pesos atribuídos uma distribuição partindo do tipo hidrológico de solo, como observado na tabela 5. A atribuição dos pesos, se justifica para o emprego de uma análise estatística mais quantitativa, visando analisar de modo mais numérico os dados gerados. Ressaltando que não se faz necessário a distribuição dos pesos, caso não se queira.

**Tabela 5** - Pesos atribuídos na matriz

Tipo hidrológico do solo		Peso	Tipo de uso	Peso
<b>B</b>	Argissolos Vermelho -Amarelos	2	Área Vegetada	2.1
			Solo Exposto	2.2
	Argissolos Vermelho-Amarelo Concrecionários	2	Área Vegetada	2.1
			Solo Exposto	2.2
<b>D</b>	Gleissolos	4	Área Vegetada	4.1
			Solo Exposto	4.2
	Neossolos Quartzarênicos	4	Área Vegetada	4.1
			Solo Exposto	4.2

Fonte: Dados da própria pesquisa (2021).

Se faz necessário destacar que a própria técnica do SCS, classifica os solos de acordo com a sua capacidade de retenção, nesse sentido, foram alocados valores seguidos essa capacidade. A técnica classifica o solo em A, B, C e D, sendo quanto mais próximo de A maior capacidade e mais próximo de D menor capacidade.

Para tal, foram atribuídos os valores de acordo com a ordem estabelecida pelo (SCS), sendo B dado o peso 2 e D o peso 4, como demonstrado na tabela anterior. Seguindo a distribuição de pesos foram atribuídos para esse grupo os tipos de uso, sendo empregados apenas área vegetada e área de solo exposto, tendo em vista, que apenas nessas áreas foram realizados testes de infiltração, sendo possível assim estimar se houve correlação entre as variáveis.

Deste modo foram dispostos os valores no Jamovi sendo posteriormente gerada a matriz de correlação. Para a elaboração da matriz seguiu-se os procedimentos no *software*: a tabela com os dados no Excell (2019) foi importada, sendo organizada conforme os dados dos testes, tipo hidrológico, tipo de uso CN, escoamento superficial com os testes; escoamento superficial segundo a CN e conforme os dados da infiltração acumulada (Iac) levantados a partir dos trabalhos de campo realizados, como se observa na tabela 6.

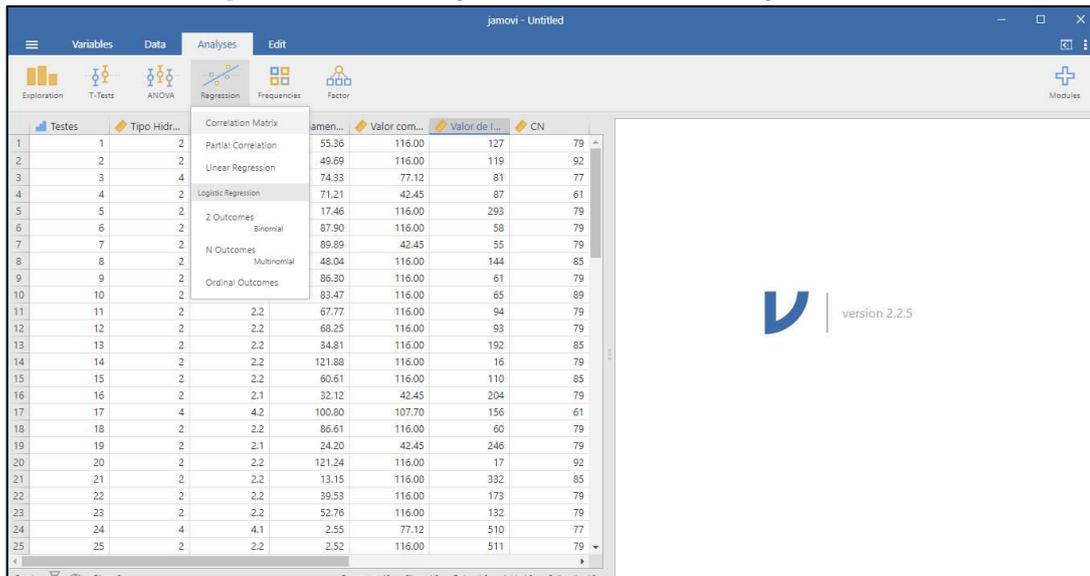
**Tabela 6** - Dados tabulados na matriz de correlação

Testes	Tipo Hidrológico	Tipo de Uso	Escoamento Superficial	Valor com a Técnica	IAC	CN
1	2	2.2	55,36	116	127	79
2	2	2.2	49,69	116	119	92
3	4	4.1	74,33	77,12	81	77
4	2	2.2	71,21	42,45	87	61
5	2	2.2	17,46	116	293	79
6	2	2.2	87,90	116	58	79
7	2	2.1	89,89	42,45	55	79
8	2	2.2	48,04	116	144	85
9	2	2.2	86,30	116	61	79
10	2	2.2	83,47	116	65	89
11	2	2.2	67,77	116	94	79
12	2	2.2	68,25	116	93	79
13	2	2.2	34,81	116	192	85
14	2	2.2	121,88	116	16	79
15	2	2.2	60,61	116	110	85
16	2	2.1	32,12	42,45	204	79
17	4	4.2	100,80	107,7	156	61
18	2	2.2	86,61	116	60	79
19	2	2.1	24,20	42,45	246	79
20	2	2.2	121,24	116	17	92
21	2	2.2	13,15	116	332	85
22	2	2.2	39,53	116	173	79
23	2	2.2	52,76	116	132	79
24	4	4.1	2,55	77,12	510	77
25	2	2.2	2,52	116	511	79
26	4	4.2	33,90	107,7	193	92
27	2	2.2	22,14	116	259	79
28	2	2.2	85,33	116	62	92
29	2	2.2	121,88	116	16	79
30	2	2.2	50,11	116	16	85
31	2	2.2	28,47	116	222	85
32	2	2.2	80,47	116	70	61
33	2	2.2	17,46	116	293	85
34	4	4.2	73,80	107,7	82	89
35	2	2.2	0,00	116	741	85
36	4	4.2	15,57	116	309	79
37	2	2.2	22,91	116	254	85
38	2	2.2	45,52	116	152	85
39	4	4.2	12,48	107,7	339	79
40	2	2.2	112,41	116	26	92

Fonte: Dados da própria pesquisa (2022).

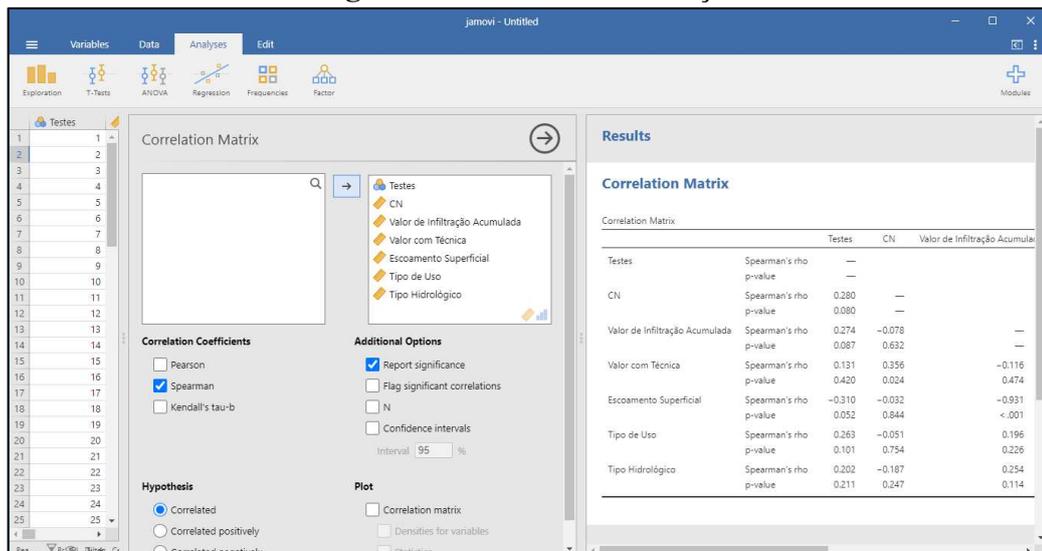
Posteriormente a importação dessa tabela para o Jamovi, foi selecionada a aba *Analyses* em seguida a ferramenta *regression e correleition matrix*, sendo selecionada Spearman para avaliar a correlação dos dados (Figura 25 e 25). Posteriormente, foi gerada a matriz de correlação, sendo possível analisar os dados que possuem uma correlação levando em consideração Spearman.

**Figura 24 -** Elaboração da matriz de correlação Jamovi



Fonte: Jamovi project (2022)

**Figura 25 -** Matriz de correlação



Fonte: Jamovi project (2022).

### 3.4 Trabalhos de campo

Os trabalhos de campo ocorreram no primeiro e segundo semestre de 2021 e 2022. Essa etapa se configurou como importante para a aplicação da técnica, sendo verificados os parâmetros do SCS-CN, como uso do solo e aplicação de teste de infiltração com anel de Hills para a validação e comparação da técnica aplicada.

Deste modo, seguiu-se em campo a metodologia descrita por Guerra (2010) para a realização dos testes de infiltração no alto curso da bacia hidrográfica do rio Anil. Os testes foram realizados em virtude das limitações que a técnica possui, sobretudo no que tange à determinação do potencial hidrológico do solo, na técnica expresso pela (S), será aplicado nessa pesquisa o teste de infiltração de acordo com tipo de solos encontrados dentro do limite da área de estudo, sendo caracterizado a infiltração acumulada entendida como potencial hidrológico do solo (S), substituindo a equação 1, como explicitado anteriormente.

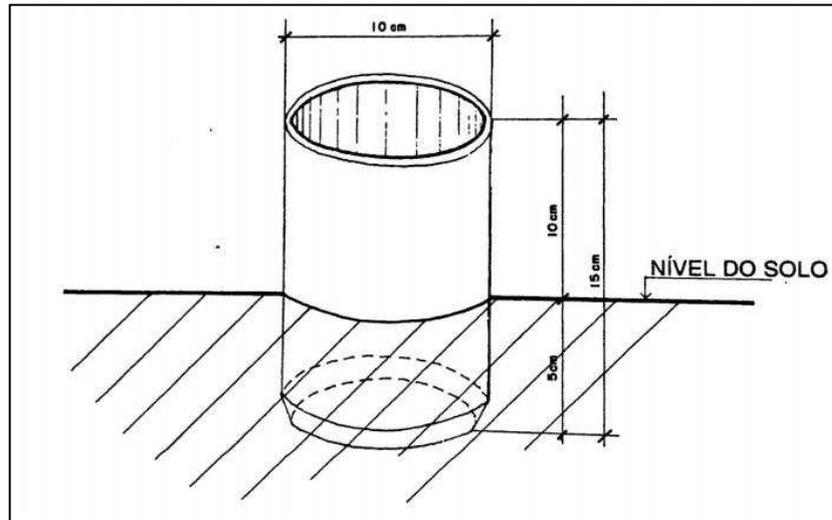
Deste modo, os pontos de análise para realização dos testes de infiltração, foram previamente selecionados na etapa de gabinete como relatado anteriormente, de acordo com os mapas de uso, compartimentos do relevo e solos. Em suma, na etapa do campo foram realizados 40 testes de infiltração levando em consideração os tipos de uso, solos e unidades geomorfológicas do relevo, sendo realizado 1 teste na intersecção de cada tipo de uso e solo.

De acordo com Guerra (2010), o infiltrômetro deve ter 10 cm de diâmetro e 15 de altura (Figura 26), sendo colocado no solo com o auxílio de um martelo ou marreta. O infiltrômetro deve entrar 5 cm no solo, restando 10 cm na superfície sendo totalmente preenchido com água.

Guerra (2010, p. 141), descreve que se deve encher o infiltrômetro de água e marca o tempo do início do teste, “anote [...] a profundidade da água após 30 segundos que infiltrômetro foi cheio, 60 segundos, 1 minuto e meio, 2 minutos. Depois disso anote a profundidade da água a cada minuto, até chegar a 30 minutos de experimento”.

Os testes de infiltração ocorreram nas seguintes etapas: no primeiro momento inseriu-se o infiltrômetro de PVC das seguintes dimensões: 15 centímetros de altura e 10 centímetros de diâmetro no solo de acordo com a metodologia proposta por Guerra (2010), sendo que 5 centímetros ficaram inseridos no solo e 10 centímetros na superfície (Foto 1).

**Figura 26 – Infiltrômetro**



Fonte: Werneck (2001).

**Foto 1 - Teste de infiltração no alto curso do rio Anil- São Luís / MA**



Fonte: Dados da própria pesquisa (2021).

Após inserir o infiltrômetro no solo certificou-se que as medidas estavam de acordo com a metodologia seguida, e continuou-se o procedimento colocando água até encher todo infiltrômetro. O segundo momento, foi a etapa de medição e anotação dos valores de infiltração,

sendo feito isso nos 30 primeiros segundos de teste, após 1 minuto e 1 minuto e meio, seguindo a metodologia do trabalho. Após isso, foi efetuada a medição de quanto infiltrou no solo de 1 em 1 minuto, até atingir os 30 minutos do teste de infiltração.

É importante ressaltar, que sempre que água atingiu 5 centímetros, foi feita a recarga do infiltrômetro e seguindo a medição e anotação na ficha de campo (Apêndice A) dos valores infiltrados até atingir o tempo estimado do teste. Em suma, os testes foram feitos para compreender como se comportava a infiltração do solo, como subsídio para comparação e validação da técnica aplicada, como explicitado anteriormente.

Também foram tiradas fotografias da área de estudo, sobretudo para confirmação do mapa de uso da terra e compartimentos do relevo do alto curso da bacia hidrográfica do rio Anil. Em relação aos equipamentos, foram utilizados o GPS - *Global Positioning System*, bem como, o *Google Earth mobile* com o *Keyhole Markup Language* (kmz) dos cursos d'água do rio Anil e as suas respectivas nascentes e delimitação do alto curso da bacia.

Para essa etapa foram utilizados os equipamentos: GPS- Garmin Etrex, régua, trena, cronômetro, ficha de campo (Apêndice A) e os infiltrômetros. Os testes seguiram a metodologia descrita por Guerra (2010). Para a padronização dos locais de testes de infiltração, os mesmos, foram realizados em áreas de solo exposto em terrenos baldios ou áreas de praça, seguindo a padronização dos locais dos 40 testes.

Os cálculos das taxas de infiltração acumulada, bem como, de escoamento superficial ocorreram na etapa de gabinete após o campo, sendo utilizada o Microsoft Excel® (2019), sendo organizado como demonstrado no (Apêndice B).

## **4 ANÁLISE DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL NO ALTO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ANIL**

Neste capítulo são apresentados os resultados finais obtidos com a pesquisa, abrangendo dados relacionados às características climáticas, geologia, compartimentos do relevo, solos, hidrográfica, testes infiltração e aplicação da técnica do SCS-CN no alto curso da bacia hidrográfica do rio Anil.

### **4.1 Aspectos fisiográficos da área de estudo**

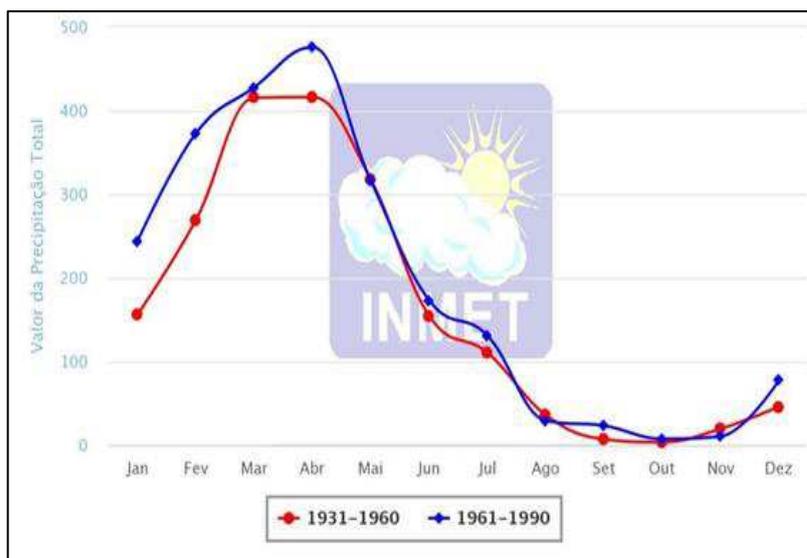
Para a realização da análise das características climáticas da área foram estudados os seguintes autores: Strahler (1960), Pereira (2006), Silva (2012) e dados coletados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET-2019).

A Ilha do Maranhão está inserida na área de transição climática do semiárido nordestino e tropical úmido amazônico, sendo considerado como um clima tropical chuvoso, com estação seca de inverno conforme a classificação de Köppen (STRAHLER, 1960).

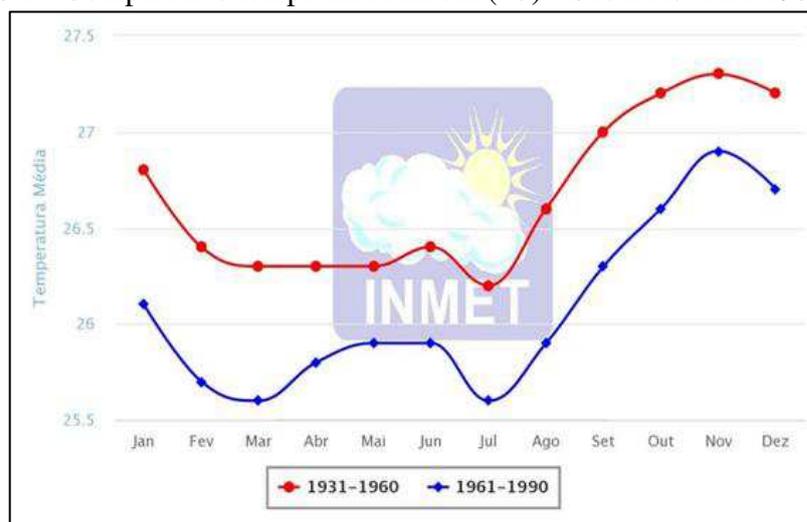
Ao analisar o Gráfico 1 de precipitação acumulada em (mm), entre os anos de (1931- 1960) e (1961-1990), observa-se que na cidade de São Luís, segundo os dados da INMTE (2019), as precipitações ocorrem predominantemente entre os meses de janeiro a junho. Segundo os dados observados os meses de março e abril detiveram as maiores precipitações, chegando a quase 500 mm nos anos de 1961-1990 e entre os anos de 1931- 1960 chegando a 400 mm, demonstrando que houve um aumento significativa de 100 mm ao decorrer dos anos.

A sazonalidade da chuva na área é marcante indicando o período chuvoso de janeiro a junho e o período seco de julho a dezembro (PEREIRA, 2006). O clima da Ilha do Maranhão é caracterizado como tropical chuvoso, tendo períodos secos no inverno e períodos quentes com chuva no verão. A temperatura média é de 26,9°C (SILVA, 2012).

A partir da análise dos dados, observa-se que as maiores médias de temperaturas ocorrem nos meses de novembro e dezembro em torno de 26° C, possibilitando a afirmação de que nos períodos de estiagem da Ilha do Maranhão, ocorrem as maiores temperaturas (Gráfico 2).

**Gráfico 1** - Comparativo de precipitação acumulada mm- São Luís -MA – 1931 a 1990

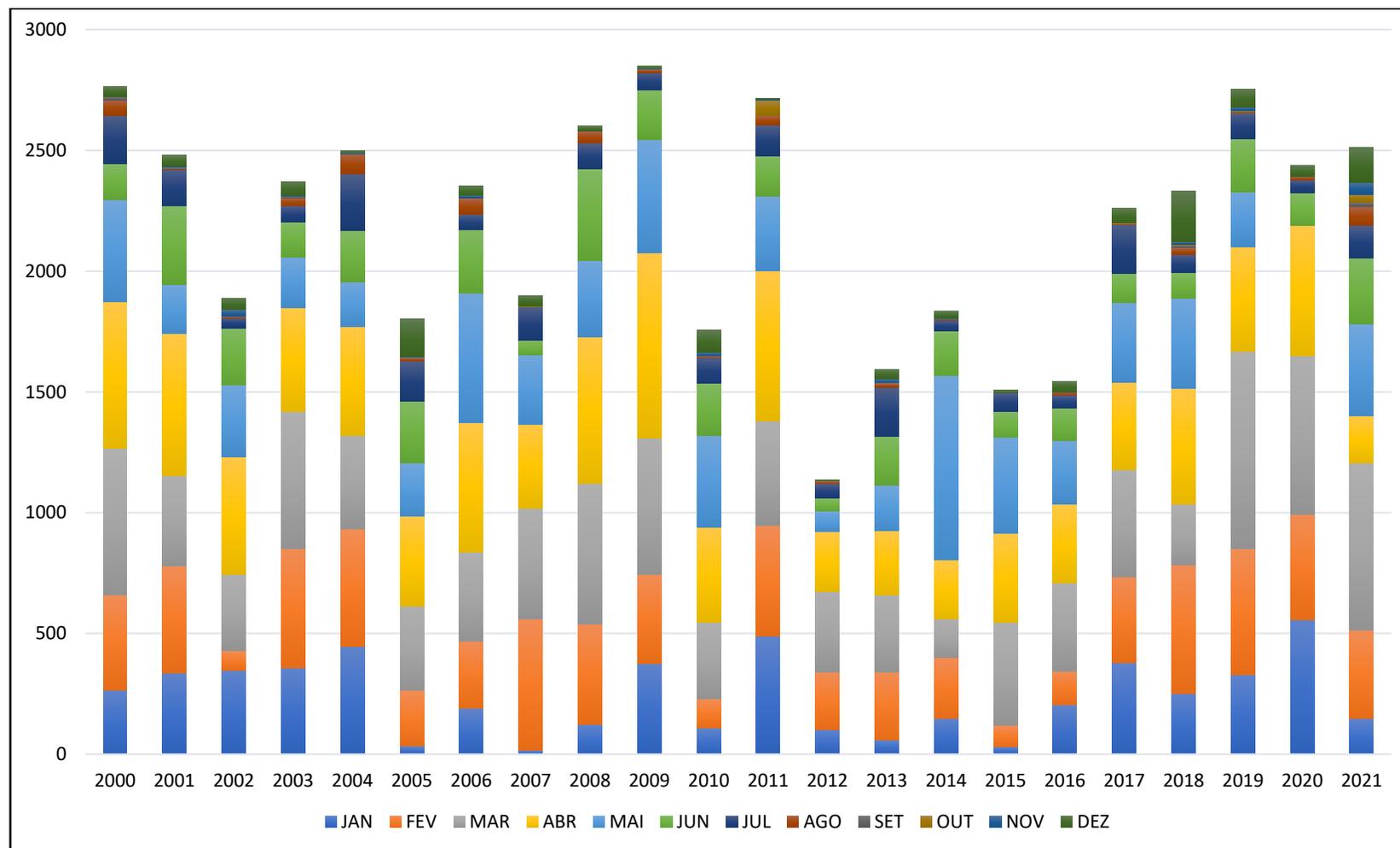
Fonte: INMET (2019).

**Gráfico 2** - Comparativo temperatura média (°C) - São Luís- MA-1931 a 1990

Fonte: INMET (2019).

Ao analisar os dados de uma série de precipitação total dos anos de 2000 a 2021, observou-se uma maior precipitação nos anos de 2000, 2008, 2009, 2011, 2019 e 2021. Nesses anos destacados constatou-se uma maior precipitação, tendo valores que ultrapassam mais de 2500 mm de água no ano (Gráfico 3).

**Gráfico 3 - Precipitação Total- Ilha do Maranhão – MA- 2000 a 2021 em mm**



Fonte: INMET (2021) organizado por Ribeiro e Cruz (2021).

Em relação a geologia da Ilha do Maranhão, de acordo com Pereira (2006, p. 65) “a sedimentação na Bacia de São Luís iniciou-se com os sedimentos do Cretáceo da Formação Itapecuru, Formação Terciário Paleogeno, Formação Barreiras e, finalmente, pelos sedimentos recentes da Formação Açuí”.

O Grupo Barreiras e depósitos aluvionares e coluvionares da Formação Açuí. De acordo com Nunes o termo “Barreiras”:

[...]tem sido utilizado pela literatura geológica ora como “Formação, ora como “Grupo” e dantes, como “Série”, a qual foi considerada imprópria, por representar unidades cronoestratigráficas, não coerente para o caso, pois se desconhecem os limites de sua sedimentação no tempo geológico (NUNES, 2011, p. 11).

Os depósitos aluvionares e coluvionares da Formação Açuí, representam cerca de 0,62 km<sup>2</sup> em relação ao valor percentual representa cerca de 4,02% da área de estudo. Em suma, são sedimentos presentes no vale dos canais, Pereira (2006, p.83) discorre que os depósitos aluvionares são compostos “[...] por sedimentos arenosos e argilosos, esbranquiçados, com seixos e grânulos dispersos de lateritas, mal selecionados, com espessura inferior a 5 metros [...]”.

Em relação aos sedimentos coluvionares, são constituídos de material conglomerático oriundos de processos viscosos de detritos, sendo fáceis de leques aluviais de enxurradas (ALMEIDA, 2000; VEIGA JUNIOR, 2000).

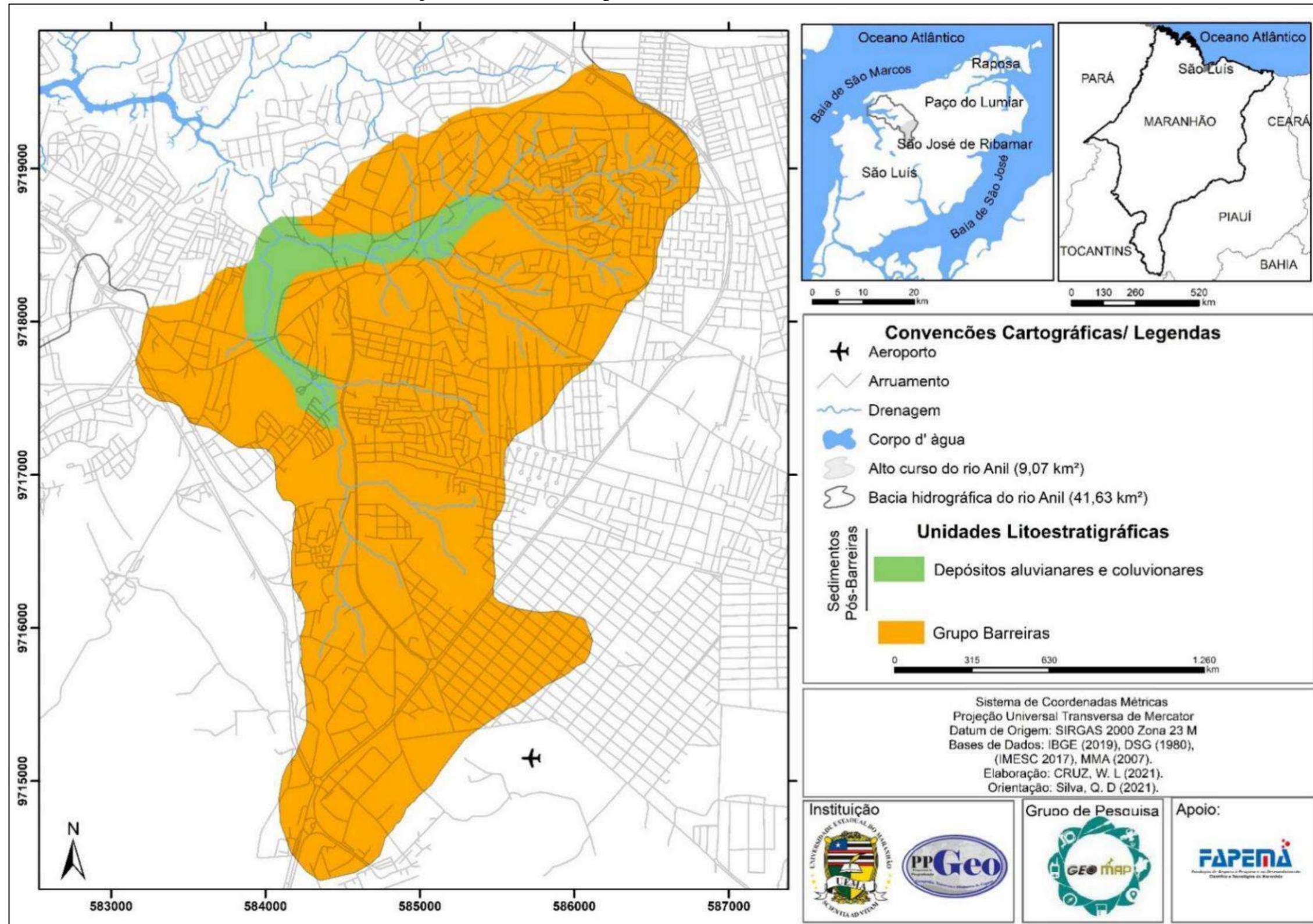
De acordo Santana (2021, p. 79) “caracteriza-se o Grupo Barreiras por apresentar um perfil pouco evoluído, com sedimentos inconsolidados, argilosos, arenosos e com nódulos e blocos de concreções ferruginosas”. O Grupo Barreiras representa cerca de 8,45 km<sup>2</sup> da área de estudo, representando uma porcentagem de 95,98% (Tabela 7) e (Mapa 3).

**Tabela 7 - Unidades litoestratigráficas alto curso do rio Anil- São Luís /MA**

Unidades Litoestratigráficas	Área	
	(km <sup>2</sup> )	(%)
Grupo Barreiras	8,45	95,98
Depósitos Aluvionais e Coluvionais	0,62	4,02
<b>Total</b>	<b>9,07</b>	<b>100</b>

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

**Mapa 3-** Unidades Litoestratigráficas do alto curso do rio Anil- São Luís- MA



Fonte: Dados da própria pesquisa (2021).

Se faz necessário destacar a incongruência acerca da geologia da Ilha, havendo classificações distintas. A Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM realizou o mapeamento da área, porém não foi divulgado o relatório final.

O Manual Técnico de Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Maranhão (ZEE, 2019), defende que a área de estudo possui litotipos da Formação Itapecuru, atualmente sendo discutida nomenclatura de Grupo.

De acordo com ANA e CPRM (2018), no projeto intitulado “Estudos Hidrogeológicos da Região Metropolitana de São Luís: Subsídio para o uso sustentável dos recursos hídricos” existe na área de estudo características litológicas Pós-Barreiras e Depósitos de Pântanos e Mangues.

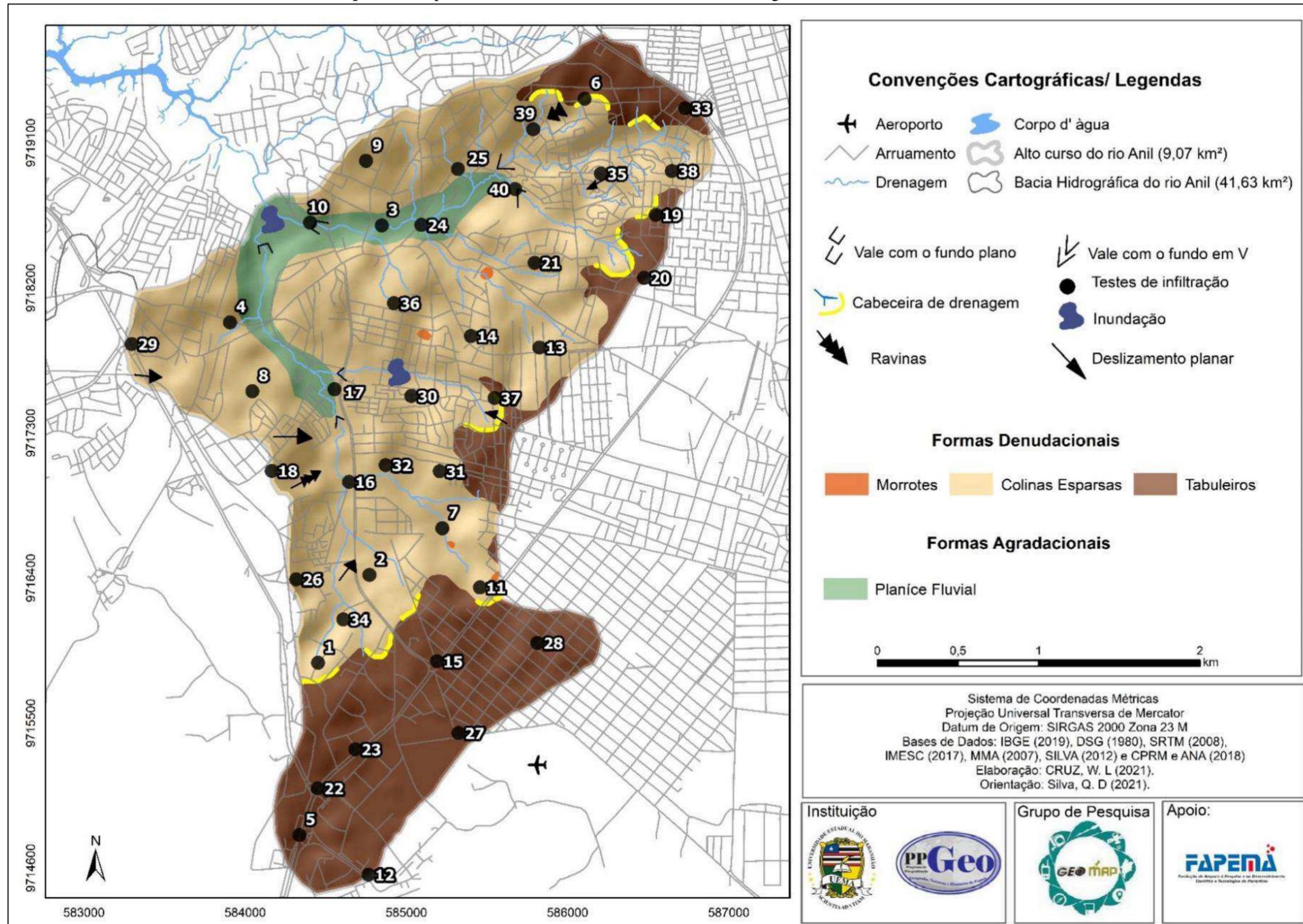
O estudo do relevo é importante, sobretudo na compreensão de diversos processos ambientais. Florenzano (2008) esclarece que dependendo de suas características, o relevo pode ser um facilitador ou dificultador para a ocupação dos ambientes terrestres pelo homem.

De acordo com Guerra (2008), na topografia o relevo é sempre definido através das diferenças entre cotas ou altitude. O relevo é, dentre os componentes do meio físico, um dos principais definidores de unidades ambientais. Sua compartimentação está frequentemente em estreita relação com a distribuição dos demais atributos formadores da paisagem como a vegetação e solo (RESENDE; SALGADO, 2011).

Além disso, as características do relevo de uma área estão relacionadas com a forma de ocupação dela. Nessa relação, “o mapa geomorfológico é indispensável na questão do inventário do relevo e, para elaborá-lo, é necessário conhecer os elementos de descrição do relevo, identificar a natureza geomorfológica de todos os elementos do terreno e datar as formas” (SILVA, 2012, p. 20).

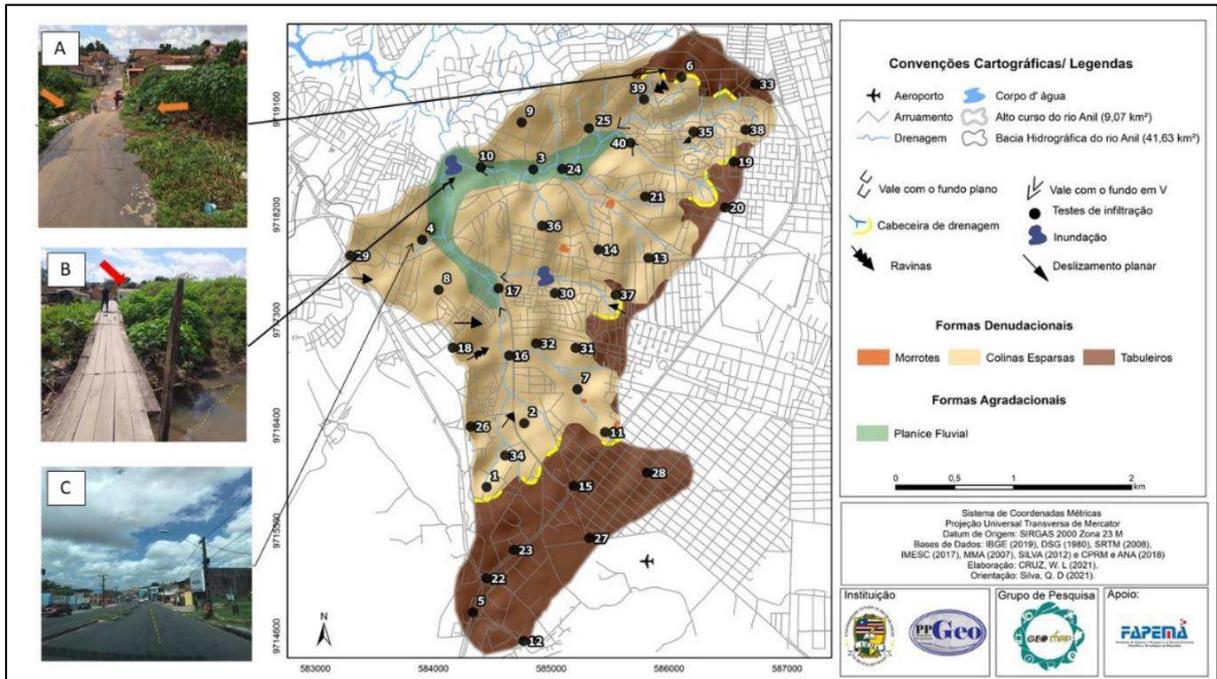
Para caracterização geomorfológica do alto curso da bacia hidrográfica do rio Anil, foi utilizada a base de dados de Silva (2012). Segundo a autora o alto curso da bacia possui dois tipos de unidades de relevo, as denudacionais, sendo os morrotes, tabuleiros, colinas esparsas, vertentes e as agradacionais que é a planície fluvial (Mapa 4). Nesta pesquisa, optou-se por compartimentar os relevos denudacionais da área em tabuleiros, colinas esparsas e morrotes, em virtude das características deles e da literatura nacional.

Mapa 4 – Compartimento do relevo no alto curso da bacia hidrográfica do rio Anil-São Luís/MA



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

**Figura 27 - Áreas do relevo no alto curso do rio Anil- São Luís/ MA**



A - Ravina erodindo rua; B - Cobertura de áreas de preservação permanente na planície fluvial;  
C - Vertente planar retilínea, totalmente impermeabilizada.

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

**Tabela 8 - Formas de relevo no alto curso do rio Anil- São Luís**

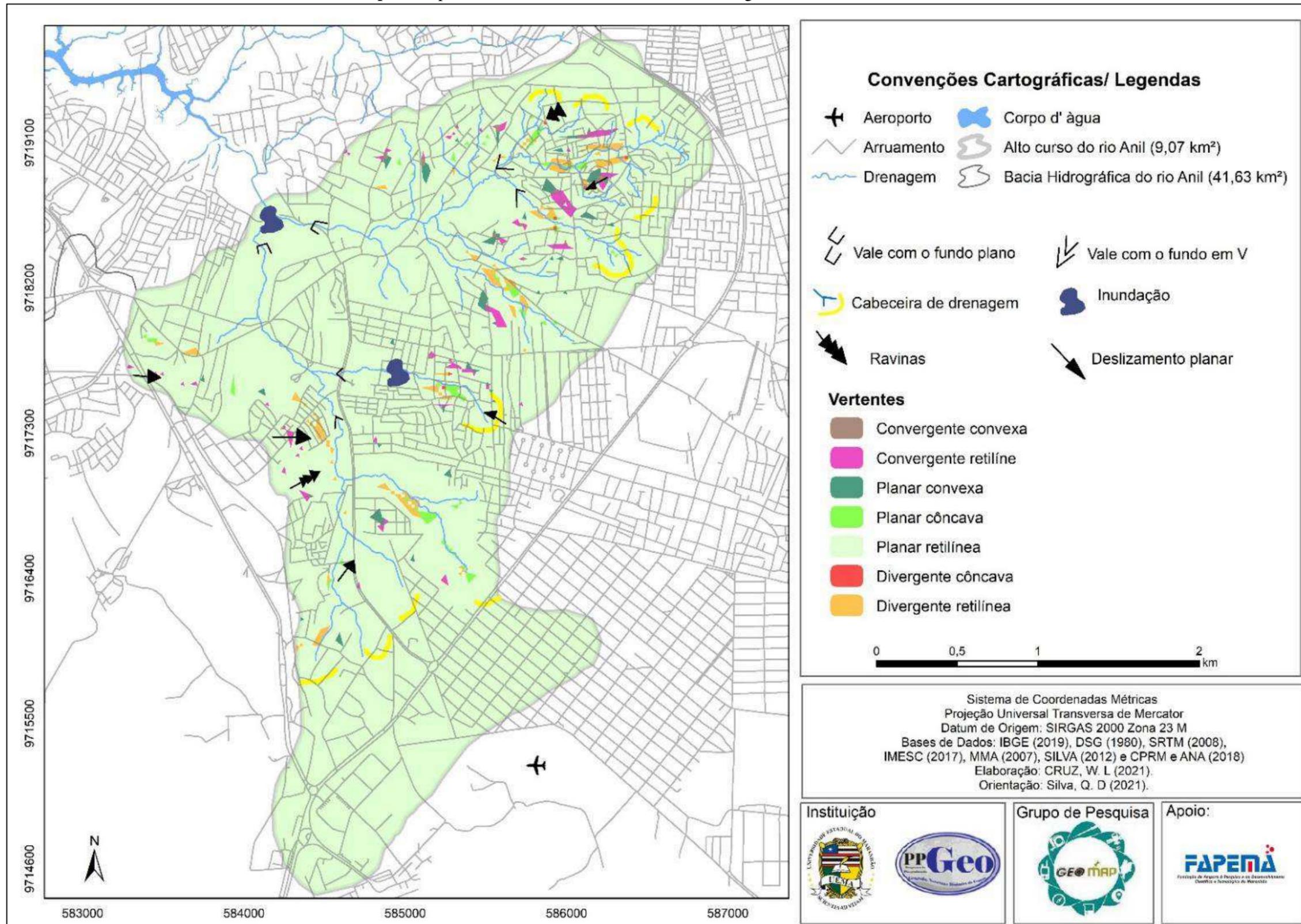
Compartimentos do Relevo		Área	
		(km <sup>2</sup> )	(%)
Relevo denudacional	Tabuleiros	2,61	28,78
	Morrotes	0,02	0,21
	Colinas Esparsas	5,78	63,73
Relevo agradacional	Planície Fluvial	0,66	7,28
<b>Total</b>		<b>9,07</b>	<b>100</b>

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

Florenzano (2008, p. 16) esclarece que as vertentes também nomeadas de encostas, [...] são superfícies inclinadas que formam a conexão dinâmica entre a linha divisora de águas e o fundo do vale (talvegue).” Em suma, são estabelecidas nove classes de terreno, sendo as formas de terreno a junção da curvatura vertical e curvatura horizontal.

A curvatura vertical abrange as formas côncavas, retilíneas e convexas, enquanto a curvatura horizontal: convergente, planar e divergente. Ao analisar as curvaturas presentes na área de estudo é percebido que a planar retilínea tem a maior área (Mapa 5), representando cerca de 8,80 km<sup>2</sup> em valor absoluto e tendo 97,02% de valor relativo.

Mapa 5 - Tipos de vertentes no alto curso da bacia hidrográfica do rio Anil-São Luís/MA



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

Um recurso importante para examinar o relevo, é a hipsometria pois através dela é possível analisar as características altimétricas de uma área. Essa característica fisiográfica é um fator importante no processo de ocupação e comportamento das sociedades, sobretudo em relação ao uso e a ocupação da terra, bem como, a utilização dos recursos naturais.

Os dados obtidos através da análise deste aspecto fisiográfico no alto curso da bacia hidrográfica do rio Anil, demonstra que a maior classe é de 18 a 24 metros, tendo um valor absoluto 1,99 km<sup>2</sup> e valor relativo de cerca 21,94% (Tabela 9).

**Tabela 9** - Valores de hipsometria do alto curso do rio Anil-São Luís

Hipsometria	Valor Absoluto (km)	Valor Relativo (%)
8-17	1,35	14,88
18-24	1,99	21,94
25-32	1,63	17,97
33-40	1,23	13,56
41-47	1,88	20,73
48-55	0,99	10,92
<b>Total</b>	<b>9,07</b>	<b>100</b>

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

De acordo com Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, (IBGE, 2009, p. 113), “a representação da hipsometria, através de mapas temáticos ou em perfis topográficos, é um importante instrumento para identificação de superfícies balizadas em níveis altimétricos previamente conhecidos.” Em relação a declividade da área de estudo, foram empregadas 6 classes para melhor leitura dos dados. De acordo com os dados obtidos (Tabela 10), a maior classe observada na área é a 0 % a 2% que representa em valor absoluto 5,58 km<sup>2</sup>, representado cerca de 61 % da área de estudo.

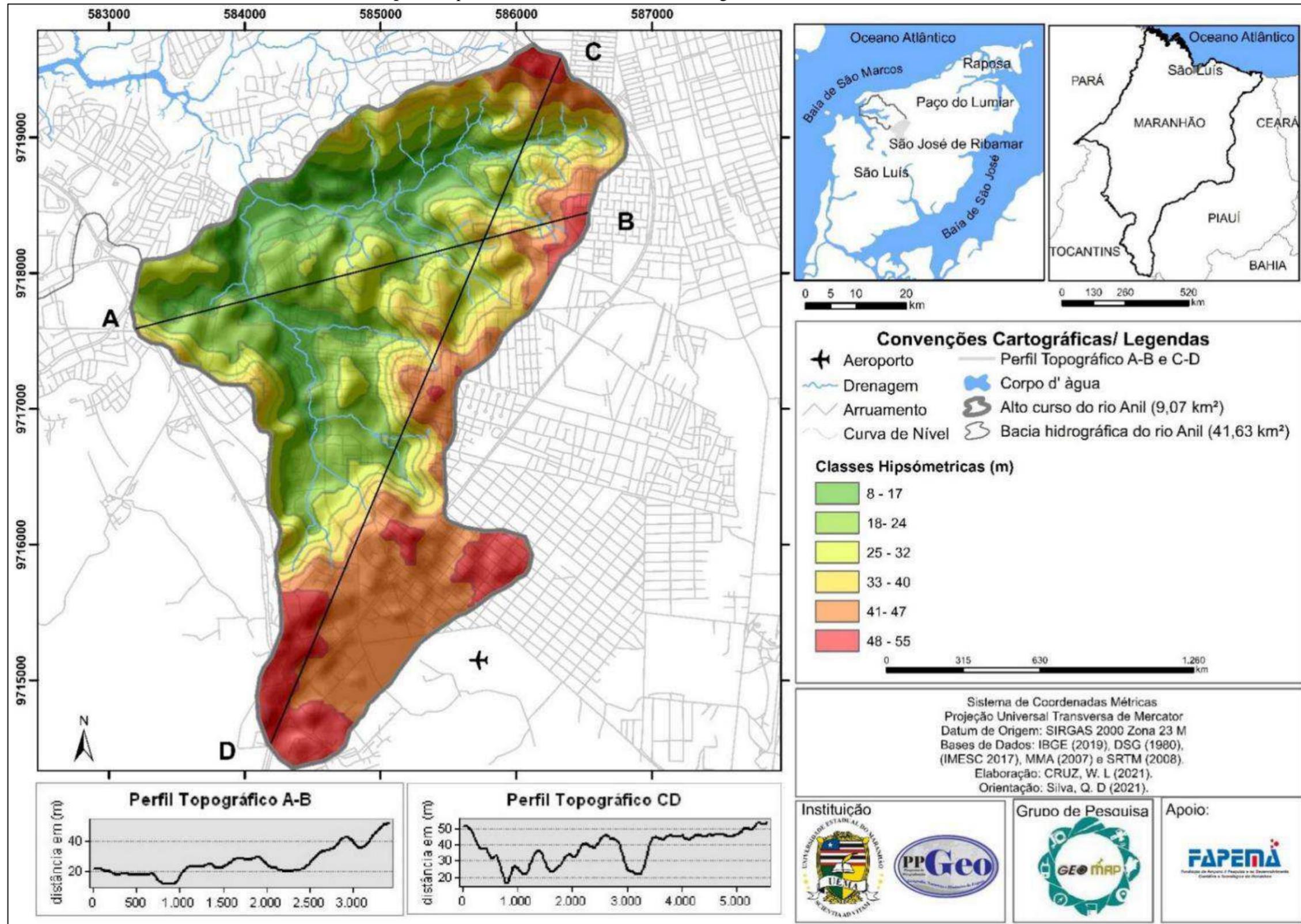
**Tabela 10** - Valores de declividade do alto curso da bacia hidrográfica do rio Anil-São Luís

Declividade	Valor Absoluto (km)	Valor Relativo (%)
0 - 2	5,58	61
2 - 6	1,89	21,83
6 - 12	1,06	11,68
12 - 20	0,38	4,18
20 - 30	0,10	1,10
> 30	0,06	0,88
<b>Total</b>	<b>9,07</b>	<b>100</b>

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

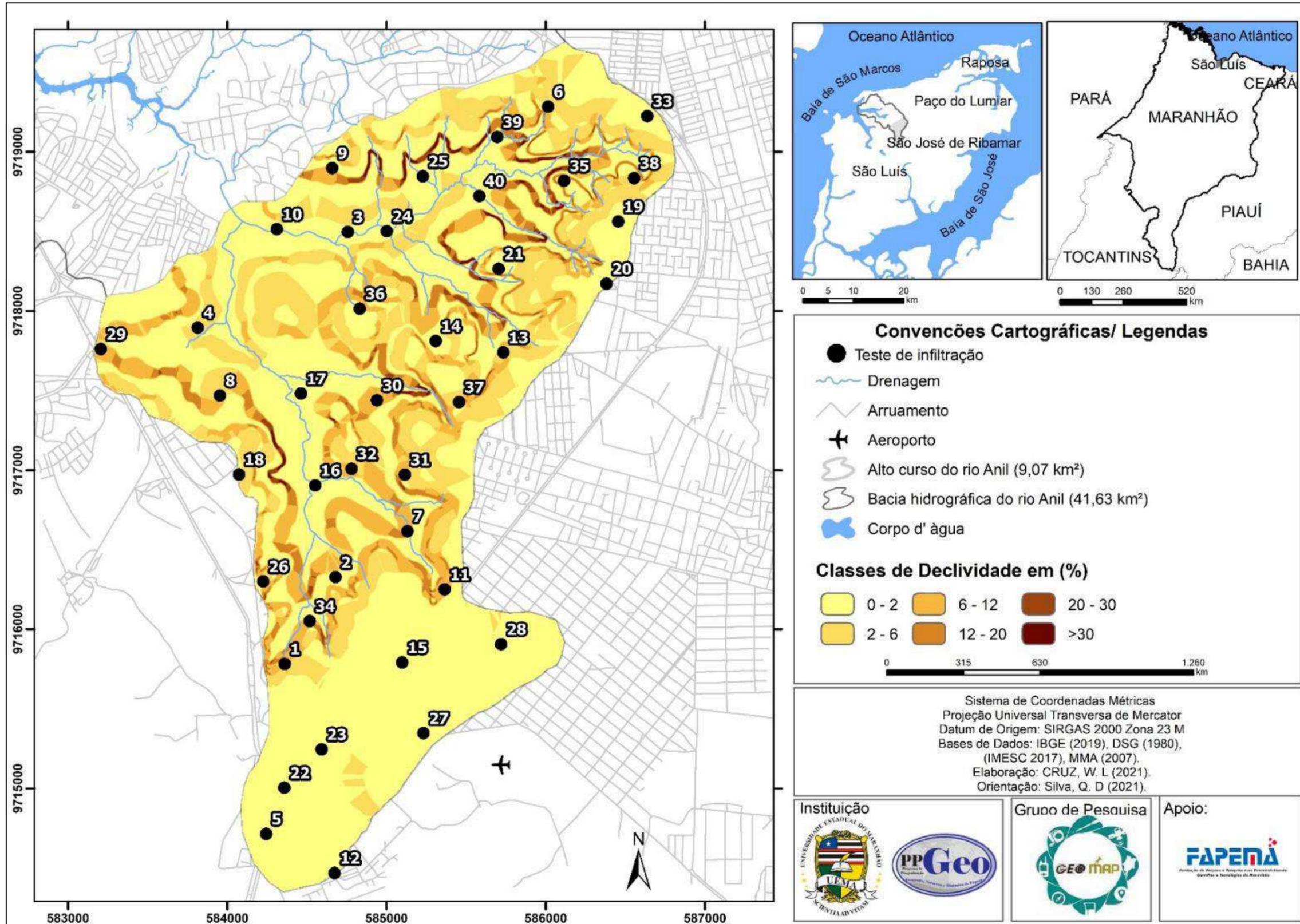
Em relação as características hipsométricas e declividade no alto curso da bacia hidrográfica do rio Anil, observou-se nos Mapas 6 e 7, que a área de estudo tem altitude que varia de 8 a 55 metros e uma declividade de 0 a >30%. As bases para elaboração desses dados foram as cartas (DSG) e a imagem (SRTM).

Mapa 6 - Hipsometria do alto curso da bacia hidrográfica do rio Anil-São Luís / MA



Fonte: Dados da pesquisa (2021)

Mapa 7 - Declividade no alto curso da bacia hidrográfica do rio Anil-São Luís / MA



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

Para a caracterização das classes de solos no alto curso da bacia hidrográfica do rio Anil, foi utilizada a base de dados de Silva (2012). Dentre as classes observadas na área de estudo estão os: Argissolos Vermelho-Amarelo, Argissolos Vermelho-Amarelo Concrecionários, Neossolos Quartzarênicos Órticos Distróficos e Gleissolos.

#### - Argissolos

Os Argissolos Vermelho-Amarelo são uma classe de solo bastante representativa na área de estudo, abrangendo 78,94% da área como observado na tabela 11. Também se encontra na área de estudo os Argissolos Vermelho-Amarelo Concrecionários que representam 3,31%.

**Tabela 11** - Valores das classes de solos presentes no alto curso da bacia hidrográfica do rio Anil

<b>Solos</b>	<b>Valor Absoluto (km)</b>	<b>Valor Relativo (%)</b>
Argissolos Vermelho-Amarelo	7,16	78,94
Argissolos Vermelho-Amarelo Concrecionários	0,30	3,31
Neossolos Quartzarênicos Órticos Distróficos	0,99	10,92
Gleissolos	0,61	6,83
<b>Total</b>	<b>9,07</b>	<b>100</b>

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2018, p.85) caracteriza os argissolos como solos “[...] constituídos por material mineral com argila de atividade baixa, ou atividade alta desde que conjugada com saturação por bases baixa ou com caráter alumínico e horizonte B textural imediatamente abaixo de horizonte A ou E”.

Partindo dessa conceituação, compreende-se que os solos constituídos por material mineral, tendo uma característica distinta em seu horizonte B textural (argila com baixa atividade ou alta quando o processo de saturação acontece por bases ou de alumínico) (EMBRAPA, 2018). Silva (2012, p. 123-124) esclarece que “é um solo mineral, não hidromórfico, pouco profundo (menor que 100 cm), bem drenado e de baixa atividade de argila.”. Deste modo:

Estes solos apresentam fortes limitações ao manejo e mecanização agrícola devido à quantidade de laterita na superfície e no interior do perfil e porque geralmente estão associados a relevos ondulados a forte-ondulados.

## **Neossolos**

Segundo a EMBRAPA (2018, p. 96) os Neossolos são “[...] constituídos por material mineral ou por material orgânico pouco espesso que não apresenta alterações expressivas em relação ao material originário devido à baixa intensidade de atuação dos processos pedogenéticos [...]”

Os Neossolos Quartzarênicos Ôrticos Distróficos estão em cerca de 10,92% da área localizados na parte Sul do alto curso da bacia hidrográfica do rio Anil. Esses solos podem ser constituídos de material mineral ou orgânico de pouca espessura, com menos de 30 cm, não apresentando horizonte B (IBGE, 2013).

## **Gleissolos**

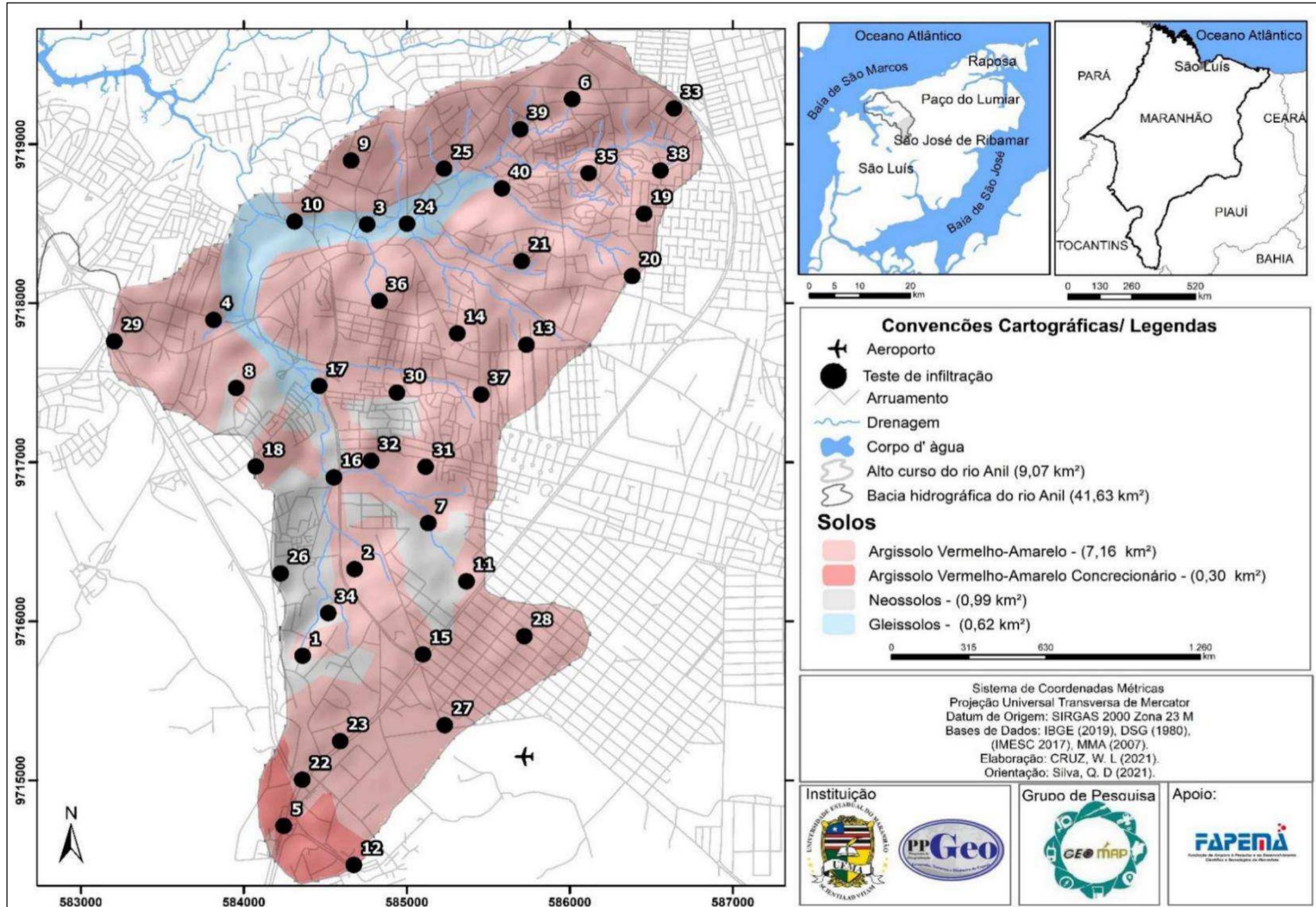
Na área de estudo os Gleissolos estão localizados no entorno dos canais do alto curso. De acordo com dados obtidos na pesquisa, esse tipo de solo representa cerca de 6,83% do alto curso da bacia hidrográfica do rio Anil (Mapa 8). Os Gleissolos são caracterizados de acordo com EMPRAPA (2018, p. 91-92), como solos que possuem o horizonte glei:

“[...]compreendem solos minerais, hidromórficos, que apresentam horizonte glei dentro de 50 cm a partir da superfície ou a profundidade maior que 50 cm e menor ou igual a 150 cm desde que imediatamente abaixo de horizontes A ou E (com ou sem gleização) (4) ou de horizonte hístico com espessura insuficiente para definir a classe dos Organossolos.”

Segundo IBGE (2015, p. 293) esses solos são “[...] característicos de áreas alagadas ou sujeitas a alagamento (margens de rios, ilhas, grandes planícies[...])”. Partindo dessa conceituação, os Gleissolos encontram-se forma indelével ou amiúde saturados por água. Se caracterizam por uma forte gleização em decorrência da saturação ocasionada pela água durante todo ano.

“[...] solos constituídos por material mineral, com horizonte glei dentro de 50 cm a partir da sua superfície ou a profundidade maior que 50 cm e menor ou igual a 150 cm desde que imediatamente abaixo de horizontes A ou E ou de horizonte H (hístico) com espessura insuficiente para definir a classe dos Organossolos [...] (EMBRAPA, 2018, p.93).

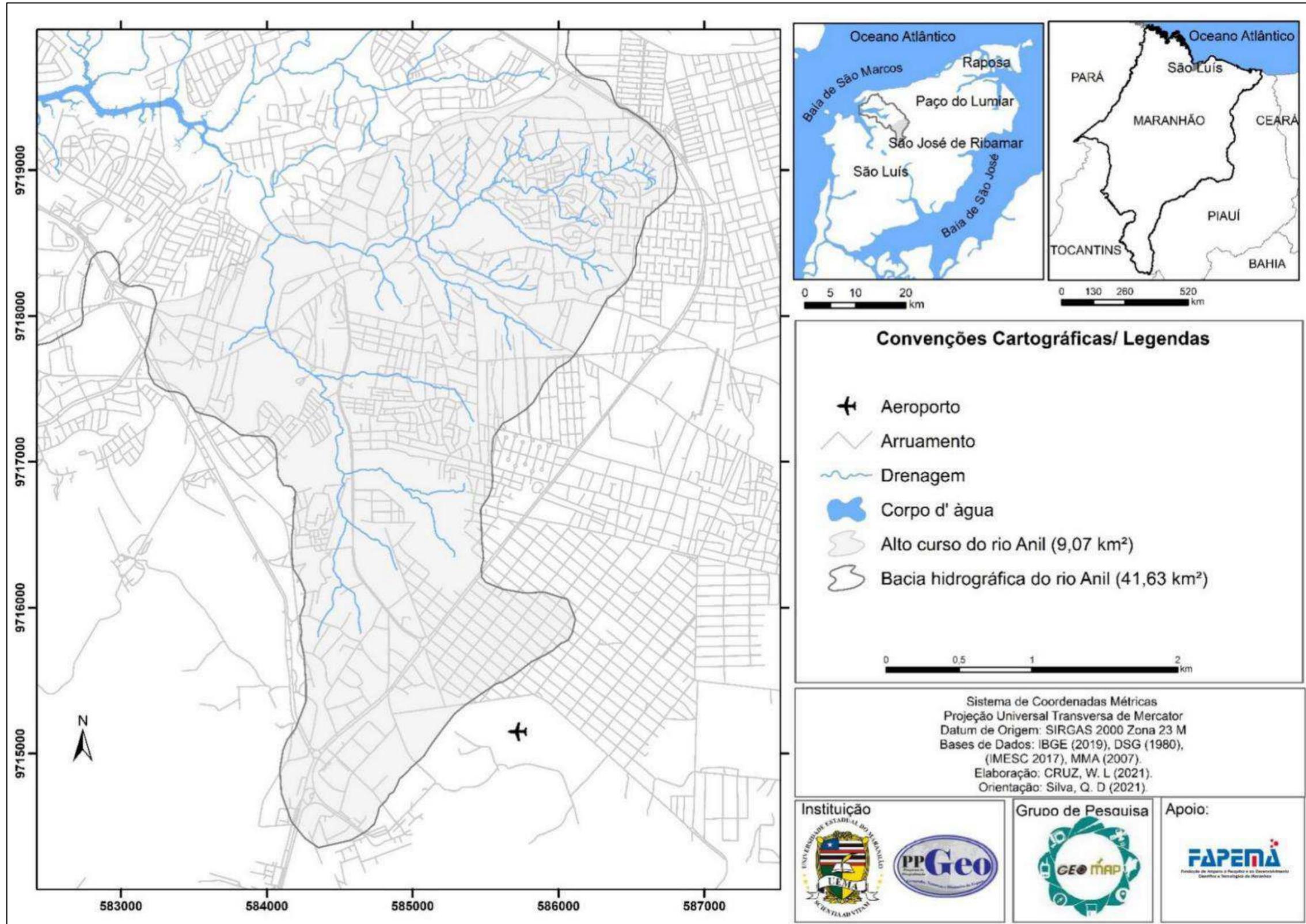
Mapa 8 - Solos do alto curso da bacia hidrográfica do rio Anil-São Luís / MA



Fonte: Dados da pesquisa (2021).



Mapa 9 - Drenagem no alto curso da bacia do rio Anil-São Luís / MA



Fonte: Dados da Pesquisa (2021).

## **4.2 Escoamento superficial do alto curso da bacia hidrográfica do Anil com base na técnica *Soil Conservation Service (SCS) - Curve Number***

Neste tópico, apresenta-se os dados relativos à aplicação da técnica do SCS-CN, para alto curso da bacia hidrográfica do rio Anil, bem como a análise dos dados dos testes de infiltração realizados.

A aplicação da técnica foi realizada nas seguintes etapas: identificação do tipo hidrológico da área de estudo, uso e cobertura da terra do alto curso, identificação do CN para a área. Posteriormente, serão apresentados os dados de infiltração da área de estudo bem como os valores obtidos com os testes de infiltração e por fim, a aplicação e comparação do escoamento superficial com a maior precipitação de 2021.

### 4.2.1 Tipo hidrológico do solo na área de estudo

A técnica do SCS-CN leva em consideração o tipo hidrológico do solo e uso e cobertura da terra para identificar o CN. De acordo com Sartori (2010) o “[...] CN pode ser avaliado a partir da resposta hidrológica de uma bacia onde todas as outras variáveis do método do CN (tipo de solo, densidade e tipo de cobertura e manejo da terra) permanecem constantes”.

Neste sentido, para aplicação da técnica se faz necessário compreender o tipo hidrológico do solo da área de estudo, visto que, ele é de suma importância para estimativa do CN. De acordo com Silva (2012), a área de estudo possui os seguintes tipos de solos: Argissolos Vermelho -Amarelos, Argissolos Vermelho-Amarelo Concrecionários, Gleissolos, e Neossolos Quartzarênicos.

Tendo conhecimento dos tipos de solos, a técnica permite classificá-los hidraulicamente de acordo com a sua capacidade reter água. Como relatado anteriormente no trabalho existe uma carência de dados sobre solos brasileiros, sobretudo em relação a condutividade hidráulica, tendo em vista essa lacuna, diversos autores elaboraram propostas de classificação dos solos, tais como Setzer e Porto (1979) e Sartori (2010).

O SCS elaborou uma tabela no qual são classificados os solos de acordo com grupos hidrológicos, mas se torna necessário compreender que a técnica foi elaborada para solos estadunidense e mesmo com atualizações de classificação do SCS no ano de 2007, ainda assim,

se tornar difícil classificar o grupo hidrológico do solo. Essa dificuldade se enfatiza por falta de dados de condutividade hidráulica saturada dos solos.

Na técnica, os solos podem ser classificados em A, B, C e D como exposto na tabela 1. Em suma, quanto mais próximo de A for o solo mais capacidade de reter água possui, enquanto mais próximo de D, menor a capacidade de reter e maior a capacidade de gerar escoamento superficial. Neste sentido, optou-se por utilizar dados de caracterização do solo de Sartori (2010), sendo disposta no ANEXO A. O autor supracitado, analisou e classificou os solos de acordo com condições brasileiras. Para tal, também utilizou dados referentes a densidade e porosidade dos solos elaborados por Sousa (2018), que realizou teste nas classes de solo no baixo curso da área de estudo.

Com base nos autores supracitados, classificou-se os solos da área nas seguintes classes hidrológicas:

Argissolos Vermelho-Amarelos foram classificados no grupo B. Sartori *et al.* (2005, p.10) destaca que os “Argissolos Vermelho-Amarelos apresentam em geral maior relação textural entre os horizontes A ou E e B [...]”. Em suma, são solos menos permeáveis que o do grupo A, porém ainda sim, possuindo alta permeabilidade, esses solos possuem profundidade menor que 2 metros. De acordo com Silva (2012, p. 123) “é um solo mineral, não hidromórfico, profundo (150 cm), moderadamente drenado”.

Os Neossolos Quartzarênicos Órticos Distróficos, foram caracterizados com grupo hidrológico D. Para Sousa (2018, p. 114-115) esses solos “[...] caracterizam-se por serem solos arenosos. [...] com menos de 20 cm de espessura, não apresentando qualquer tipo de horizonte B diagnóstico”.

De acordo com Sartori (2010, p. 113) os Neossolos Quartzarênicos são solos arenosos “[...] com pouca ou nenhuma variação textural ao longo do perfil. A textura areia ou areia franca concede a estes solos elevada condutividade hidráulica saturada ao longo do perfil”. O autor destaca que uma das limitações desse solo ocorre quando o nível do lençol subterrâneo se encontra elevado.

Neste sentido, esse solo pode variar de acordo com a umidade dele, tendo em vista, que foi aplicado na técnica a maior precipitação do ano de 2021 e os testes de infiltração foram realizados no período chuvoso da Ilha do Maranhão. Os Neossolos no período chuvosos, ficam saturado, assim, eles foram classificados como tipo D, para a caracterização hidrológica do solo. Também foram realizados após a qualificação, testes de infiltração no período de estiagem

da área de estudo, tendo em vista, analisar o compartimento da infiltração acumulada durante este período.

Os Gleissolos foram caracterizados como grupo D, por se encontrarem de acordo com Silva (2012, p. 127) em “[...] área de várzea, em planície fluvial, que condiciona um grande teor de umidade ao solo, sendo, portanto, mal drenado e encharcado, com o lençol freático muito próximo à superfície.

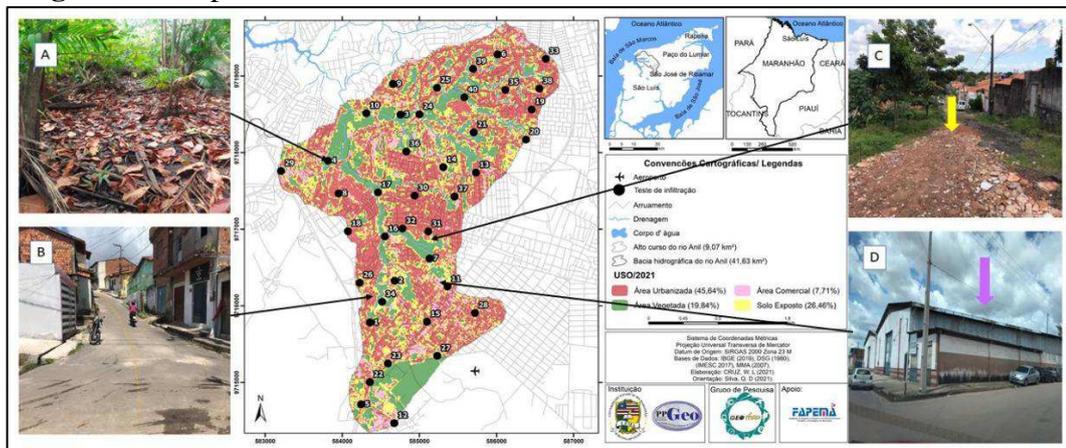
De acordo com EMBRAPA, (2006, p. 80), esses solos “[...] encontram-se permanente ou periodicamente saturados por água, salvo se artificialmente drenados. A água permanece estagnada internamente, ou a saturação é por fluxo lateral no solo.”

#### 4.2.2 Uso e cobertura da terra

Tendo em vista, a caracterização do tipo hidrológico do solo, outro aspecto importante para a estimativa do CN é o uso da terra, visto que, é ele que vai condicionar o quão a área estudada está impermeabilizada. Em suma, o uso e cobertura da terra juntamente com o tipo hidrológico do solo é definidor de qual é o CN da área.

Para tal, foi elaborado o mapa de uso e cobertura da terra do ano de 2021 do alto curso da bacia hidrográfica do rio Anil, sendo esse elaborado a partir de uma imagem Sentinel-2 com resolução de 10 metros. Foram identificados 4 tipos de cobertura, sendo: área urbanizada, área vegetada, área comercial e solo exposto (Figura 29). Não foi possível identificar outras classes de cobertura, sobretudo pela resolução da imagem.

**Figura 29 - Tipos de uso e cobertura da terra no alto curso do rio Anil- São Luís**



A - Área Preservação Permanente- APP vegetada; B – área urbanizada; C - solo exposto; D- área comercial.  
Fonte: Dados da pesquisa (2021).

De acordo com IBGE (2013, p. 49), a área urbana “Compreendem áreas de uso intensivo, estruturadas por edificações e sistema viário, onde predominam as superfícies artificiais não agrícolas.” As áreas vegetadas especializadas no mapa de uso da terra, são denominadas pelo mesmo manual, como áreas de vegetação natural de acordo com IBGE (2013, p. 90), que compreende um conjunto de:

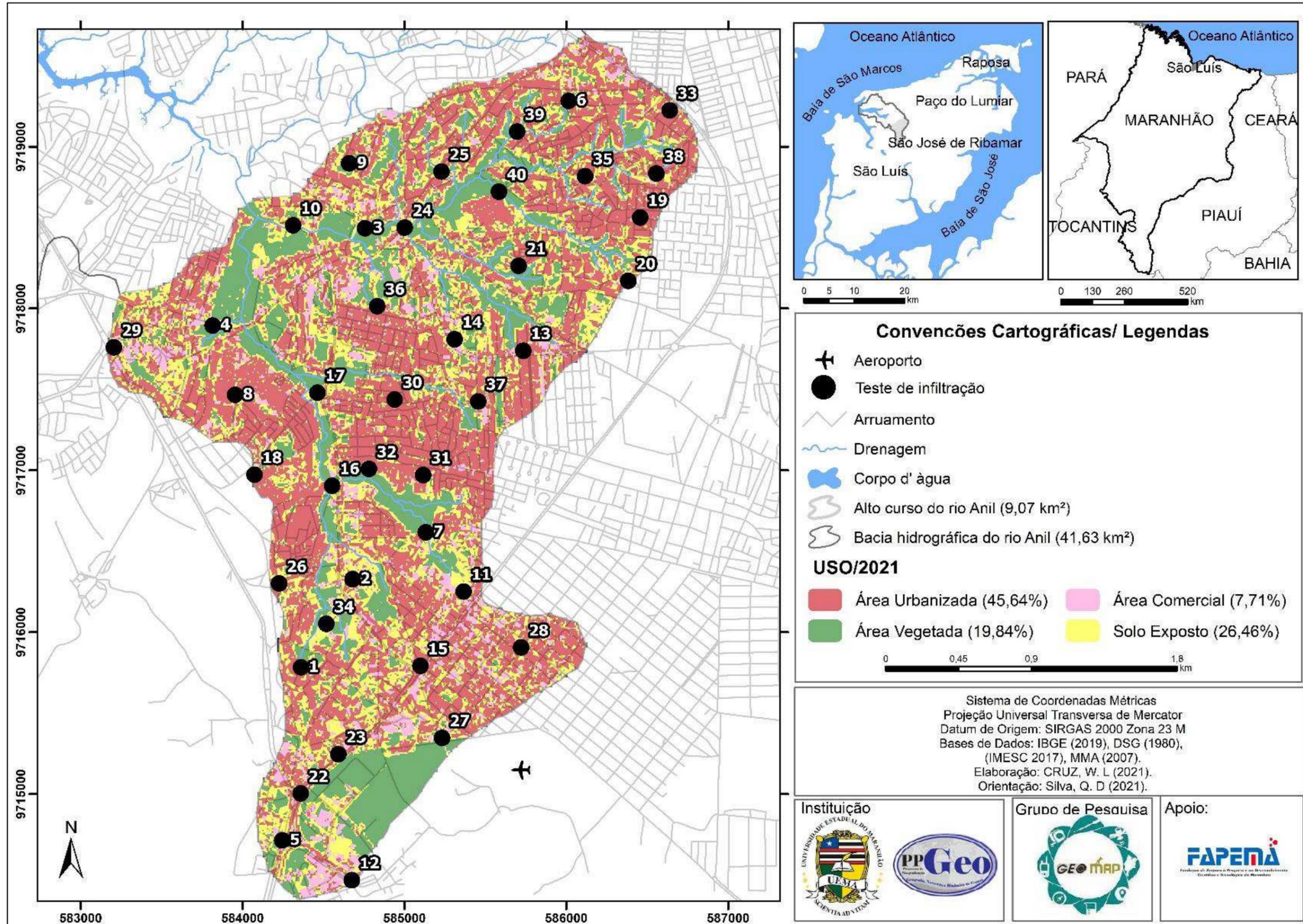
[...] estruturas florestais e campestres, abrangendo desde florestas e campos originais (primários) e alterados até formações florestais espontâneas secundárias, arbustivas, herbáceas e/ou gramíneo-lenhosas, em diversos estágios sucessionais de desenvolvimento, distribuídos por diferentes ambientes e situações geográficas.

Como explicitado nesta pesquisa, foi empregado a nomenclatura de áreas vegetadas para o mapa de uso da terra no alto curso da bacia hidrográfica do rio Anil, tendo em vista, a resolução da imagem utilizada na presente pesquisa, não foi possível classificar de forma mais detalhada outros tipos de vegetação presentes na área de estudo. Para a classe de solo exposto, foi empregada a análise da imagem supracitada, localizando através dos pixels áreas que possuem solo exposto. De acordo com EMBRAPA (online) “se o solo tem poucas plantas, como no plantio convencional, o solo fica exposto, menos protegido, perde matéria orgânica e outros elementos”.

Neste sentido, foi elaborado o mapa de uso e cobertura de forma automática (Mapa 10) em ambiente SIG. Para validação dos dados obtidos no mapa foram realizados campos para confirmação do uso e cobertura, sobretudo, para a classe comercial, visto que, essa classe foi determinada a partir da visualização da imagem de satélite de galpões que em suma, na área de estudo são áreas de comércio de alguma natureza.

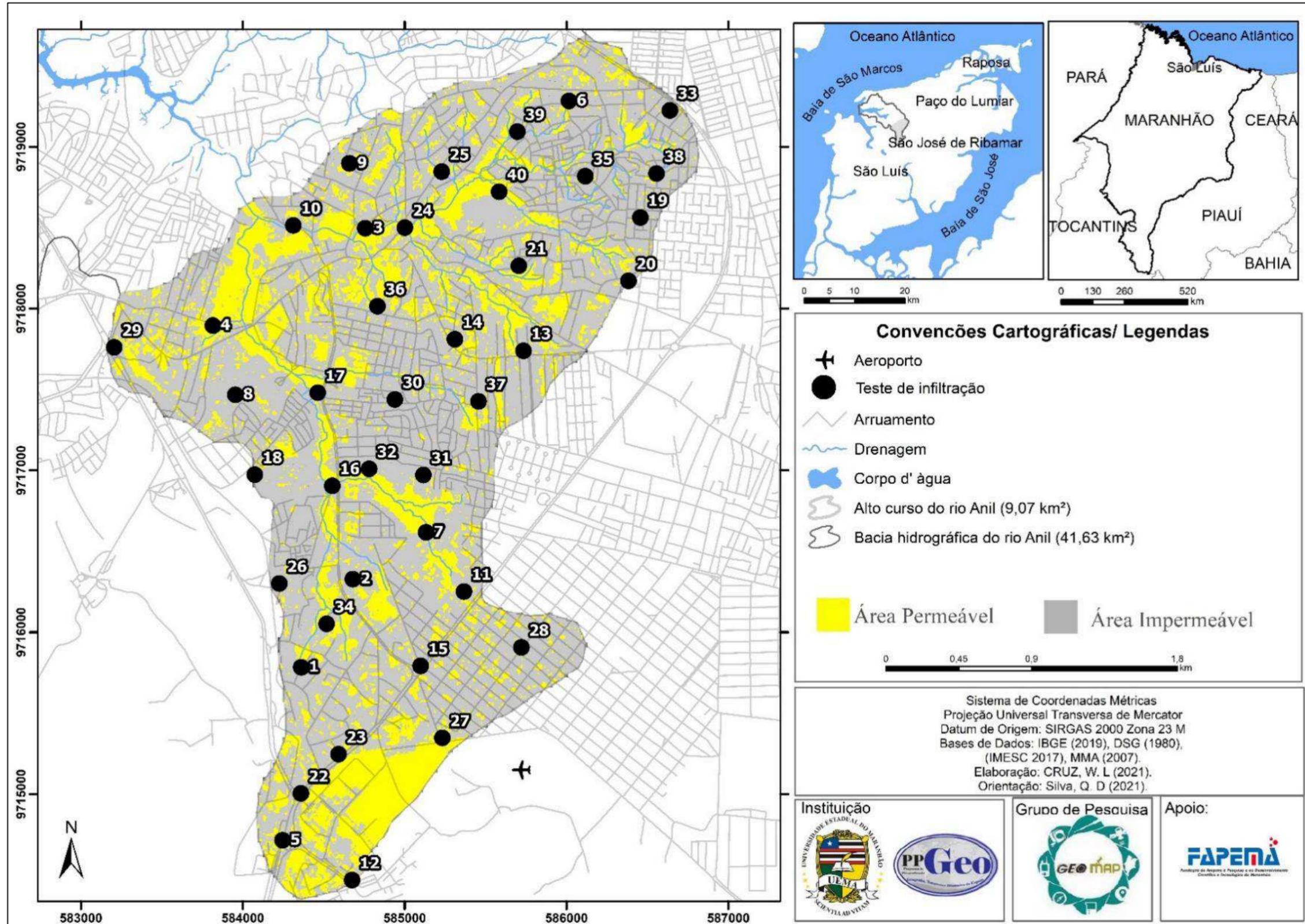
A área de estudo possui 45,64% de sua extensão classificada como área urbanizada. A segunda maior classe é solo exposto que corresponde a 26,46% da área de estudo. A terceira maior classe é área vegetada que corresponde a 19,84%, e por fim, área comercial que representa 7,71% do alto curso do rio Anil. Tendo em vista os resultados obtidos, observa-se que o alto curso da bacia do rio Anil é mais de 53% urbanizada e impermeabilizada (Mapa 11), sendo essa ocupada em geral por áreas residenciais. Outro uso destacado é solo exposto, essa classe possui um valor expressivo, muito em decorrência da constante ocupação da área de Áreas de Preservação Permanente-APP, visto que, em grande parte estão localizados próximos os canais fluviais.

Mapa 10 - Uso e cobertura da terra do alto curso da bacia hidrográfica do rio Anil de 2021- São Luís/MA



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

Mapa 11 - Mapa de área permeáveis e impermeáveis do alto curso da bacia hidrográfica do rio Anil de 2021- São Luís/MA



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

Em relação à impermeabilização do solo, foi observado através do mapa 11, que cerca de 53 % do alto curso está impermeabilizado. Fontes (2003) afirma que o processo de urbanização acarreta profundas modificações no uso do solo, que por sua vez causam impactos permanentes nas respostas hidrológicas das áreas urbanizadas.

Partindo dos resultados obtidos, sobretudo da identificação do tipo hidrológico da área foi possível estimar o CN de cada uso, para aplicação na equação 1, para obtenção do potencial de retenção da água no solo e posteriormente aplicação na equação 2. Neste sentido, separou-se os usos de acordo com o tipo hidrológico do solo para a estimativa do CN para os polígonos de uso e cobertura da terra.

#### 4.2.3 Curva Número do alto curso da Bacia

Com os dados referentes ao tipo hidrológico do solo e ao uso e cobertura da terra, foi identificado o CN a partir dos parâmetros citados anteriormente. Para tal, foi utilizada a tabela 3 “valores de CN para bacias Urbanas”. Por fim, foram escolhidos os respectivos CN do alto curso do rio Anil de acordo com a tabela 12 e Mapa 12.

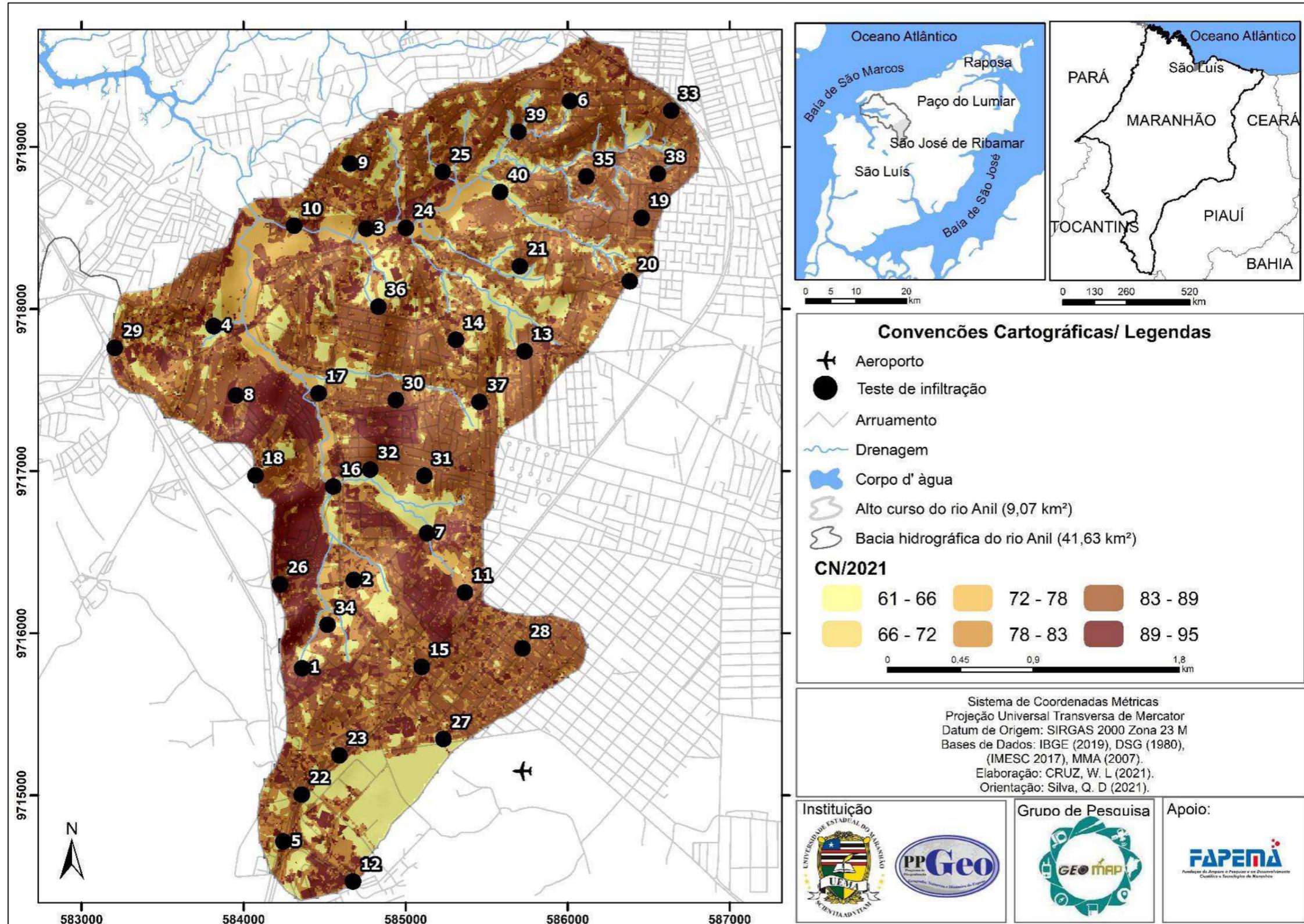
**Tabela 12** - Curva número para classes de uso e cobertura do alto curso do rio Anil

<b>Solos</b>	<b>Tipos hidrológicos</b>	<b>Tipo de uso e cobertura</b>	<b>CN</b>
Argissolos Vermelho-Amarelos	<b>B</b>	Área Urbana	85
		Área Vegetada	61
		Área Comercial	92
		Solo Exposto	79
Argissolos Vermelho-Amarelo Concrecionários	<b>B</b>	Área Urbana	85
		Área Vegetada	61
		Área Comercial	92
		Solo Exposto	79
Gleissolos	<b>D</b>	Área Urbana	92
		Área Vegetada	77
		Área Comercial	95
		Solo Exposto	89
Neossolos Quartzarênicos Órticos Distróficos	<b>D</b>	Área Urbana	92
		Área Vegetada	77
		Área Comercial	95
		Solo Exposto	89

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

Ao analisar os dados obtidos observa-se que o menor valor de CN é 61 para área vegetada com grupo hidrológico B, e o maior é 95 para área comercial com tipo hidrológico D. Quanto mais próximo de 100 for o CN, mais impermeabilizada é a área, quanto mais próximo de 0 for, menor a impermeabilização, conseqüentemente menor será o escoamento superficial.

Mapa 12 - Classes de Curve Number do alto curso da bacia hidrográfica do rio Anil-São Luís/MA



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

#### 4.2.4 Potencial hidrológico do solo na área de estudo

Com os valores do CN para as áreas do uso e cobertura da terra do alto curso da bacia hidrográfica do rio Anil observados na tabela 12 e mapa 12, foi possível aplicar na equação 1. Esta equação identifica o potencial de armazenamento da água no solo, estando os valores apresentados na tabela 13.

**Tabela 13** - Potencial de retenção da água no solo

<b>Tipo de uso e cobertura</b>	<b>Grupo Hidrológico</b>	<b>CN</b>	<b>Potencial de retenção da água no solo (S) em (mm/dia)</b>
Área Urbana	<b>B</b>	85	44,82
Área Vegetada		61	162,39
Área Comercial		92	22,08
Solo Exposto		79	98,77
Área Urbana	<b>D</b>	92	22,08
Área Vegetada		77	75,87
Área Comercial		95	13,36
Solo Exposto		89	31,39

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

A área de estudo possui duas classes de solos caracterizados no grupo D, os Gleissolos e Neossolos Quartzarênicos Órticos Distróficos, os quais possuem os mesmos valores de CN para as respectivas classes de uso e cobertura da terra.

Observa-se ao analisar os dados, que a área que possui maior valor de retenção da água no solo é a vegetada com solos Argissolos Vermelho-Amarelos e Argissolos Vermelho-Amarelo Concrecionários, que pertencem ao grupo hidrológico B. As áreas comerciais com Gleissolos e Neossolos Quartzarênicos Órticos Distróficos, apresentam menor capacidade de retenção e com maior probabilidade de gerar escoamento superficial.

Os valores apresentados na tabela 13 foram obtidos através da utilização convencional da técnica do SCS. Os valores identificados através dos testes de infiltração realizados estão detalhados no item a seguir.

#### 4.2.5 Potencial hidrológico com testes de infiltração

O conhecimento da taxa de infiltração da água no solo é de grande importância, sobretudo para a definição de técnicas para a conservação do solo, bem como, o entendimento da potencialidade de retenção de água.

Neste trabalho foi aplicada a metodologia empregada por Aguiar, Targa e Batista (2007). Foram realizados na área de estudo testes de infiltração para a identificação da infiltração acumulada como potencial de armazenamento da água no solo (S) substituindo a equação 1, assim como os autores supracitados realizaram.

Foram realizados 40 testes no alto curso da bacia hidrográfica do rio Anil, sendo esses empregados em tipos de solo distintos visando compreender o potencial de armazenamento de água no solo para o seu respectivo uso e cobertura.

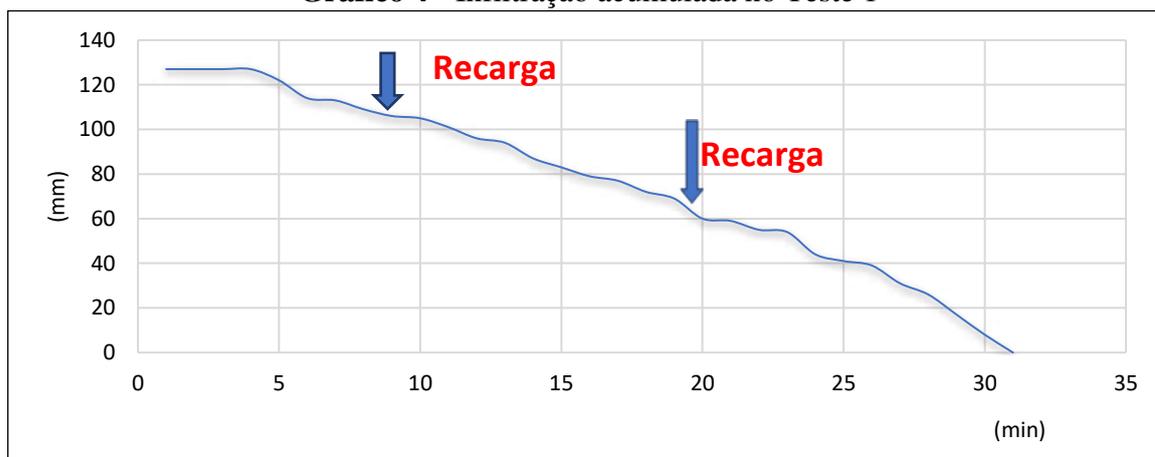
O teste de infiltração 1 foi realizado na Travessa da Pedreira em uma área de solo exposto (Foto 2). O tipo hidrológico do solo é o B, Argissolo Vermelho-Amarelo. O valor de infiltração acumulada identificado pelo teste foi de 127 mm, com duas recargas, conforme observado no Gráfico 4.

**Foto 2** - Local do teste de Infiltração 1 no alto curso do anil-São Luís –MA



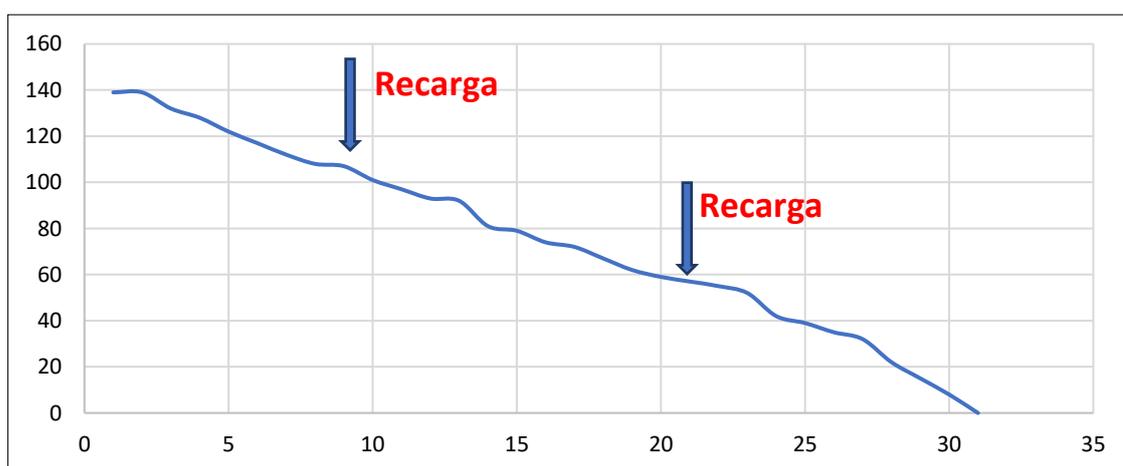
A-Terreno tecnogênico no topo da colina; B- área de declive da vertente, imagem retirada da base da colina e C- Área de quebra de talude onde a nascente se localiza.

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

**Gráfico 4 - Infiltração acumulada no Teste 1**

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

O teste 2 foi realizado em uma área de aglomerado subnormal <sup>11</sup>chamado de conjunto residencial Santos Dumont com Argissolos Vermelho-Amarelo. Essa área fica localizada dentro dos limites da Área de Relevante Interesse Ecológico – ARIE, sendo área de influência das nascentes do rio Jaguarema, de acordo com Lei nº 4.770 de 22 de março de 2007. O resultado obtido para esse teste demonstra que a infiltração acumulada foi de 139 mm, como observado no gráfico 5.

**Gráfico 5 - Infiltração acumulada no Teste 2**

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

<sup>11</sup> De acordo com IBGE (online) o aglomerado subnormal “[...] é uma forma de ocupação irregular de terrenos de propriedade alheia – públicos ou privados – para fins de habitação em áreas urbanas e, em geral, caracterizados por um padrão urbanístico irregular, carência de serviços públicos essenciais [...].”

O teste 03 foi realizado em uma área de solo do tipo hidrológico D – Gleissolos, na planície fluvial (Foto 3) do canal, cerca de 60 metros de distância do Instituto Estadual de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IEMA) - Unidade Vocacional Centro Integrado Rio Anil (CINTRA).

**Foto 3 - Local do teste de infiltração 3 – Alto curso do rio Anil- São Luís – MA**



A- Local do teste de infiltração 03; B – área de depósitos de resíduos sólidos no leito do canal  
Fonte: Dados da pesquisa (2021).

Em relação ao uso e cobertura do solo da área do teste 3, destaca-se que a área é vegetada sem residências próximas. No que tange às características morfométricas, o local tem altitude de 16 metros e sua declividade é de 0 a 2%. A infiltração acumulada do teste 3 foi de 81 mm, sendo necessária apenas uma recarga no minuto 9 do ensaio (Gráfico 6).

**Gráfico 6 - Infiltração acumulada no Teste 3**



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

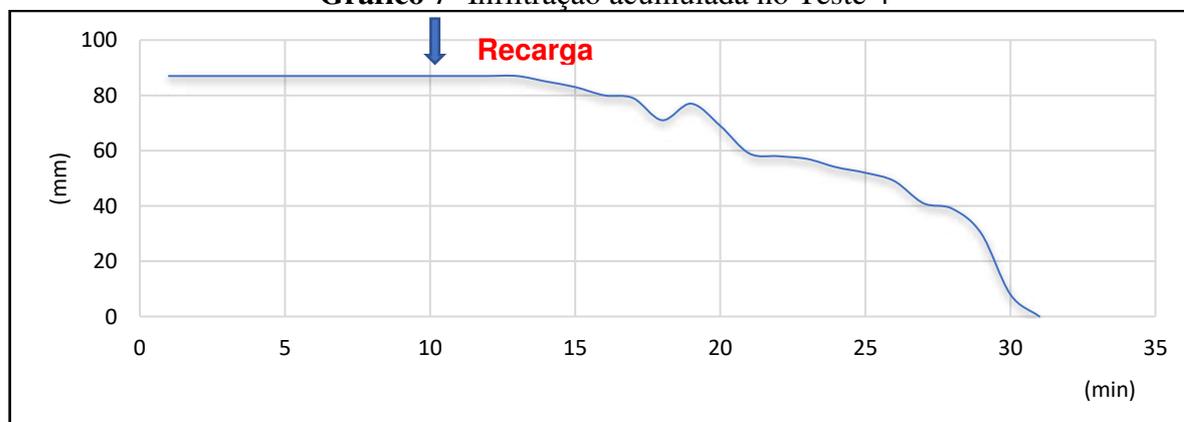
O teste 4 foi realizado em área com Argissolo Vermelho-Amarelo, caracterizado pela técnica como do tipo hidrológico B. A área é vegetada e tem nascente (Foto 4). O valor de infiltração acumulada obtido com o teste 4 foi de 87 mm, sendo realizada apenas uma recarga no minuto 9 como observado no gráfico 7. A morfologia da área, tem-se colinas esparsas com altitude de 20 metros e declividade de 2 a 6%.

**Foto 4** - Local do teste de infiltração 4 – Alto curso do rio Anil- São Luís – MA



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

**Gráfico 7**- Infiltração acumulada no Teste 4



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

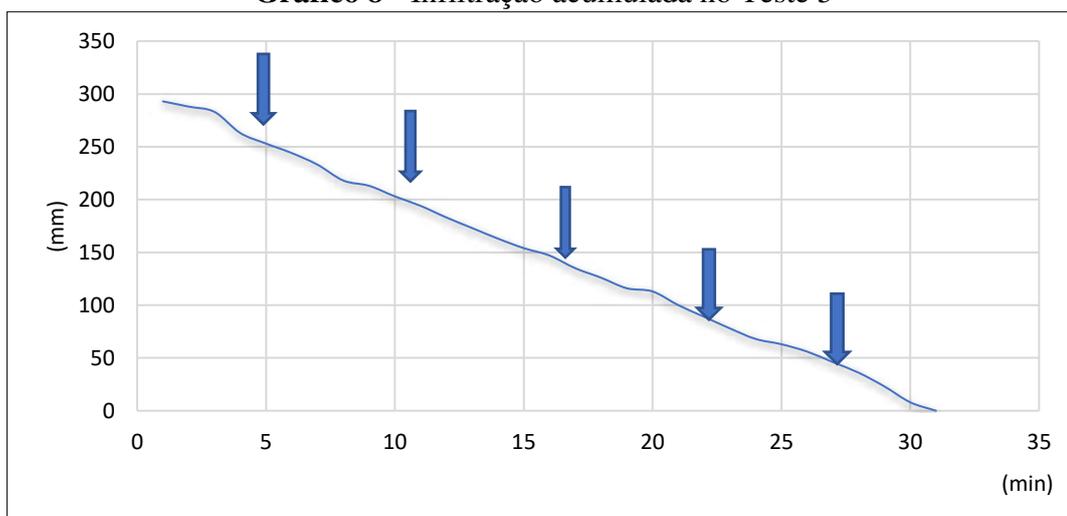
O teste 5 foi realizado nas mediações da BR-135 em área de solo exposto próximo à praça (Foto 5). No que tange à morfologia do terreno, é caracterizado como tabuleiro com altitude de 55 metros e declividade 0 a 2%; os solos são do tipo B. Em relação ao valor obtido com o teste de infiltração, o valor da IAC (infiltração acumulada) foi de **293 mm**, sendo realizadas 5 recargas (Gráfico 8). A primeira recarga ocorreu no minuto 5, a segunda no minuto 10, a terceira no minuto 16, a quarta no minuto 21 e por fim, a última no minuto 26 do ensaio.

**Foto 5** - Local do teste de infiltração 5 – Alto curso do rio Anil- São Luís – MA



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

**Gráfico 8** - Infiltração acumulada no Teste 5



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

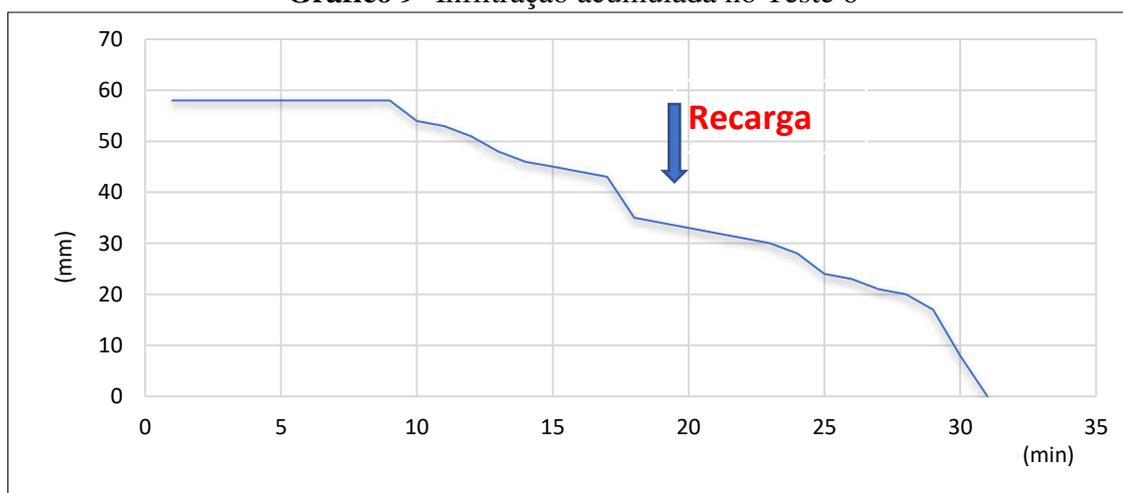
**Foto 6** - Local do teste de infiltração 6 – Alto curso do rio Anil- São Luís – MA



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

O teste 6 foi realizado em área de solo exposto, próximo ao canal fluvial. A localidade é residencial (Foto 6), tendo características de morfologia de colinas esparsas com ravina próximo ao local do teste. O tipo hidrológico do solo é B - Argissolos Vermelho-Amarelos. Em relação a altitude, a área tem 41 metros e declividade de 2 a 6%. No que tange à infiltração acumulada do teste 6, o valor obtido foi de 58 mm, sendo realizado apenas uma recarga no minuto 19, como observado no gráfico 9.

**Gráfico 9**- Infiltração acumulada no Teste 6



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

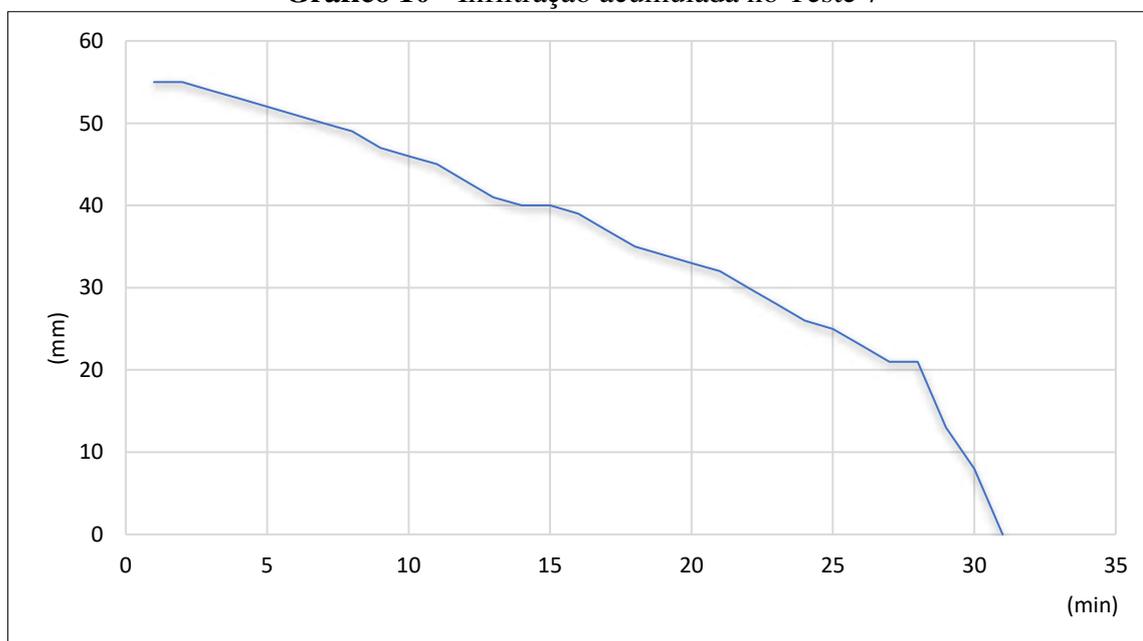
O teste 7 foi realizado numa área com grama e criação de bovinos, ao lado do canal sem residências na margem esquerda do rio, onde foi realizado o ensaio (Foto 7). No que tange a morfologia do local, tem-se uma planície fluvial, com altitude de 30 metros e declividade de 6 a 12%. A infiltração acumulada foi de 55 mm não sendo necessárias recargas durante os testes de infiltração 7, como observado no gráfico 10.

**Foto 7 -** Local do teste de infiltração 7 – Alto curso do rio Anil- São Luís – MA



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

**Gráfico 10 -** Infiltração acumulada no Teste 7



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

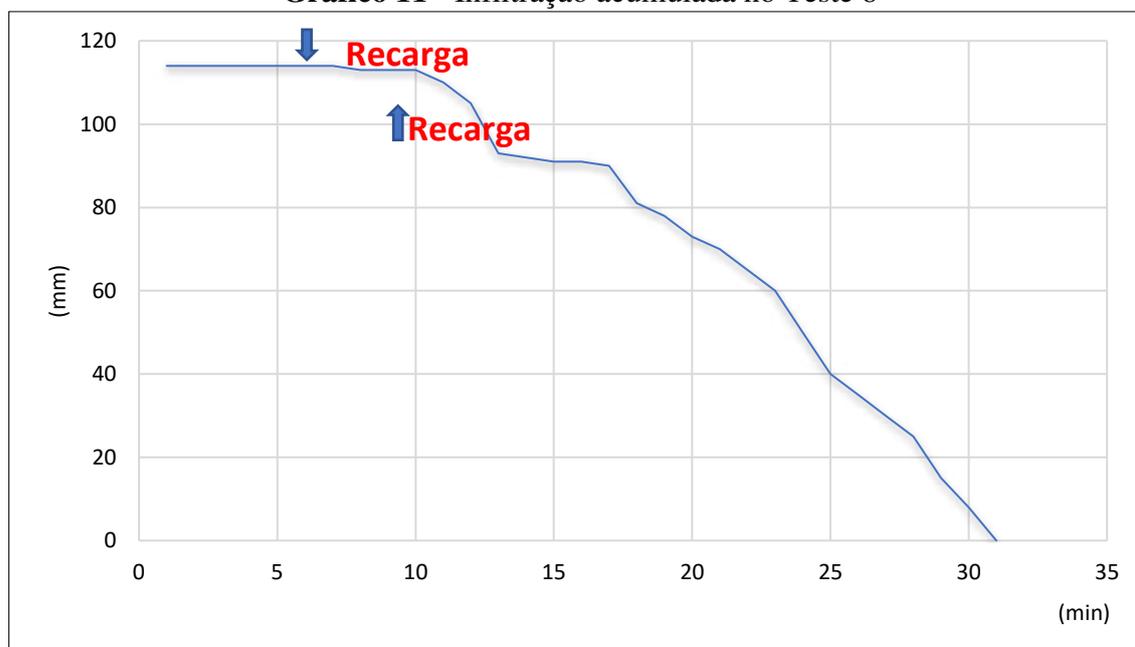
O teste 8 foi realizado na praça do condomínio localizado no Anil. A praça apresenta solo exposto do tipo hidrológico B (Foto 8). Quanto à morfologia, a área apresenta colinas com altitude de 24 metros e declividade de 2 a 6%. Em relação a infiltração acumulada, o valor obtido foi 144 mm (Gráfico 11), sendo realizadas duas recargas no minuto 7 e 19.

**Foto 8** - Local do teste de infiltração 8 – Alto curso do rio Anil - São Luís – MA



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

**Gráfico 11** - Infiltração acumulada no Teste 8



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

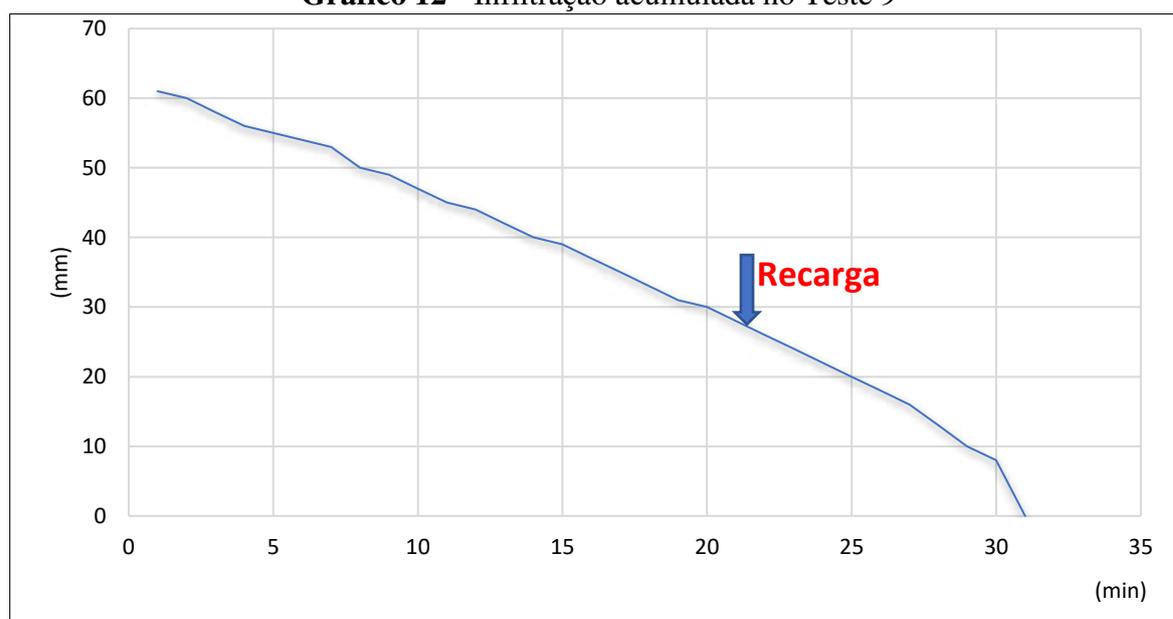
**Foto 9** - Local do teste de infiltração 9– Alto curso do rio Anil - São Luís – MA



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

O teste 9 foi realizado em área com solo exposto na praça do bairro. A área ao redor do local do teste é residencial (Foto 9), com tipo hidrológico B. No que diz respeito à morfologia, há colinas esparsas com altitudes de 33 metros e declividade de 2 a 6%. A infiltração acumulada foi 61 mm e sendo realizada apenas uma recarga no minuto 23 do ensaio como observado no gráfico 12.

**Gráfico 12** - Infiltração acumulada no Teste 9



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

O teste 10 foi realizado ao lado canal com presença de terrenos tecnogênicos utilizados com o intuito de controlar o processo de erosão. Também foi notada a presença de animais de grande porte como bovinos (Foto 10).

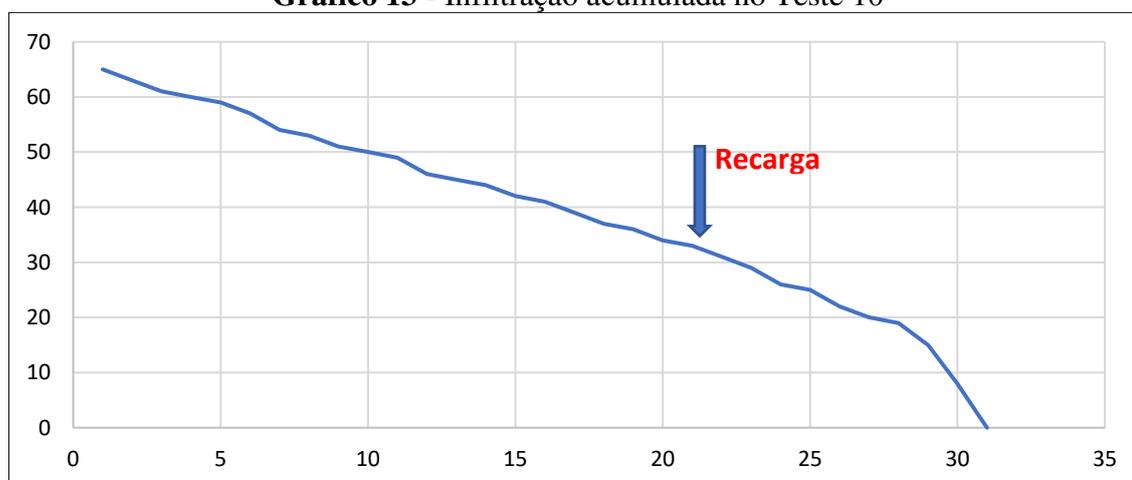
**Foto 10** - Local do teste de infiltração 10 – Alto curso do rio Anil - São Luís – MA



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

No que tange aos aspectos ligados a morfologia da área o teste 10 foi realizado na planície fluvial com altitude de 14 metros com declividade de 0 a 2%. O teste obteve a infiltração acumulada de 65 mm, sendo realizada apenas uma recarga no minuto 23 do teste (Gráfico 13).

**Gráfico 13** - Infiltração acumulada no Teste 10



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

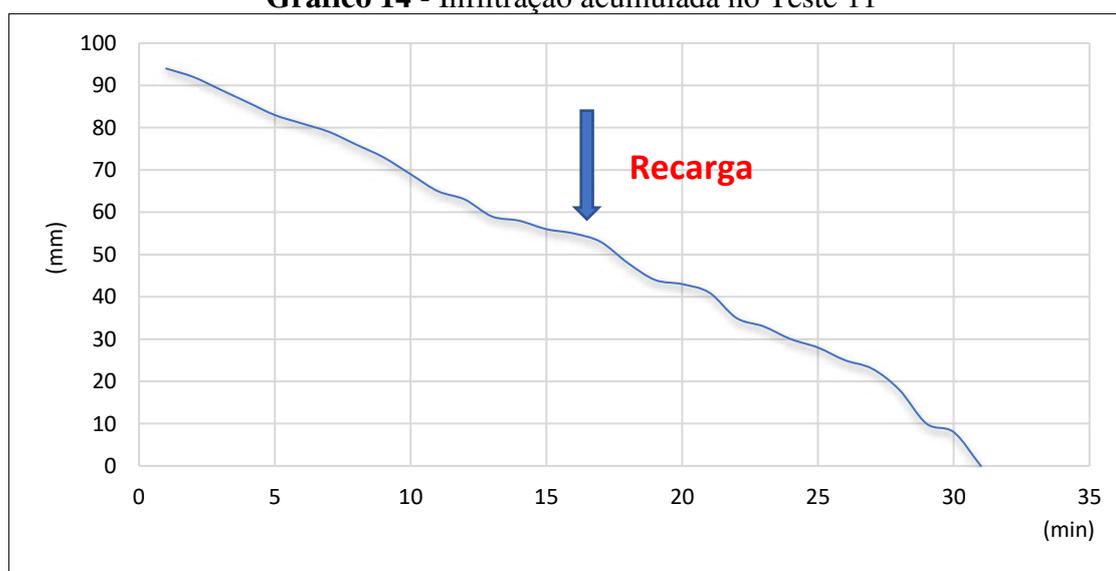
O teste 11 foi realizado em área com solo exposto do tipo hidrológico B e gramíneas, nas mediações de um antigo “lixão” como observado na foto 11. Em relação à morfologia da área, tem-se tabuleiro com altitude de 48 metros e declividade de 6 a 12%, em área de nascente. O valor infiltração acumulada foi de 94 mm, sendo realizada apenas uma recarga minuto 16 do ensaio (Gráfico 14).

**Foto 11** - Local do teste de infiltração 11 – Alto curso do rio Anil - São Luís – MA



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

**Gráfico 14** - Infiltração acumulada no Teste 11



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

Com vegetação de grama e solo exposto (Foto 12), o teste 12 está localizado nas mediações do aeroporto de São Luís sem construções próximas. No tocante a morfologia da área o teste localiza-se na área de tabuleiro da bacia, no limite do interflúvio da mesma. A altitude da área é de 55 metros com declividade de 0 a 2%, caracterizado com tipo hidrológico B. Em relação ao valor de infiltração acumulada, o teste obteve 93 mm, sendo realizada uma recarga no minuto de 16 (Gráfico 15).

**Foto 12** - Local do teste de infiltração 12 – Alto curso do rio Anil - São Luís – MA



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

**Gráfico 15** - Infiltração acumulada no Teste 12



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

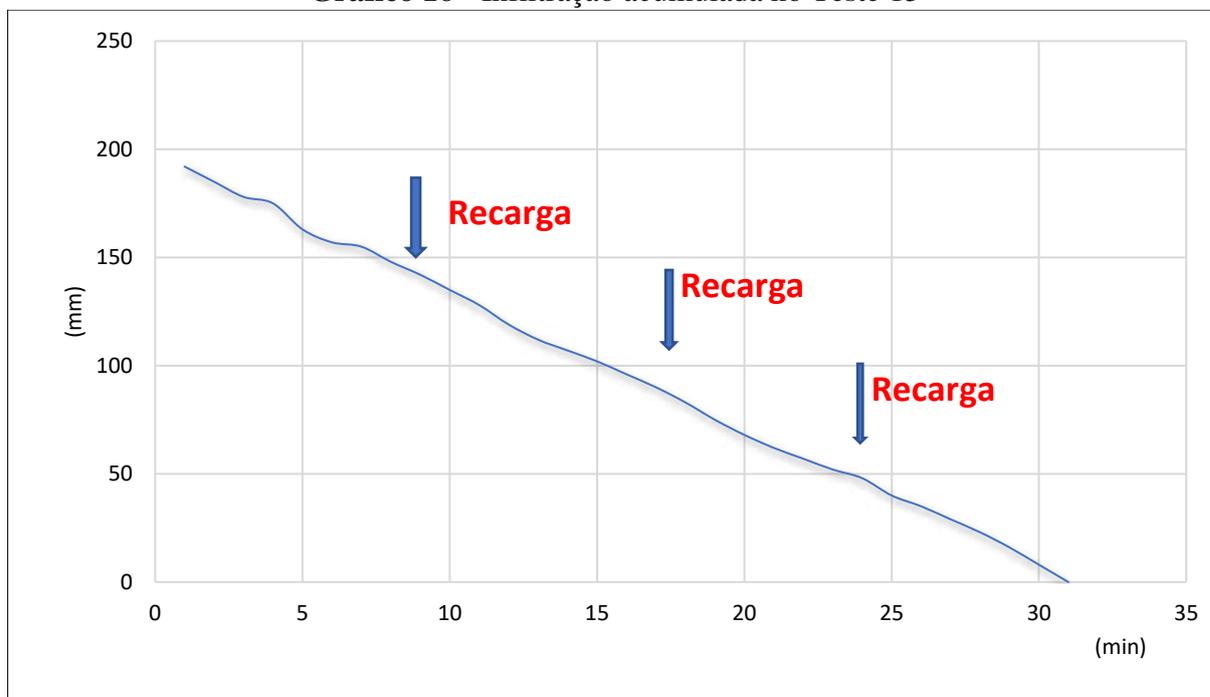
O teste 13 foi realizado em uma área em frente à residência, com grama e solo exposto (Foto 13). O local é bastante urbanizado com várias residências próximas. No que diz respeito a morfologia, o teste foi realizado em uma área de colinas esparsas com altitude de 30 metros com declividade de 6 a 12%. O valor de infiltração observado foi de 192 mm, sendo realizadas 3 recargas, nos minutos 8, 16 e 24 sucessivamente (Gráfico 16).

**Foto 13** - Local do teste de infiltração 13 – Alto curso do rio Anil - São Luís – MA



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

**Gráfico 16** - Infiltração acumulada no Teste 13



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

O teste 14 foi realizado em um terreno baldio ao lado da antiga estrada de Ribamar (Foto 14). O local não possuía cobertura vegetal, tendo residências em seu perímetro, sendo espaço utilizado como local de descarte de resíduos.

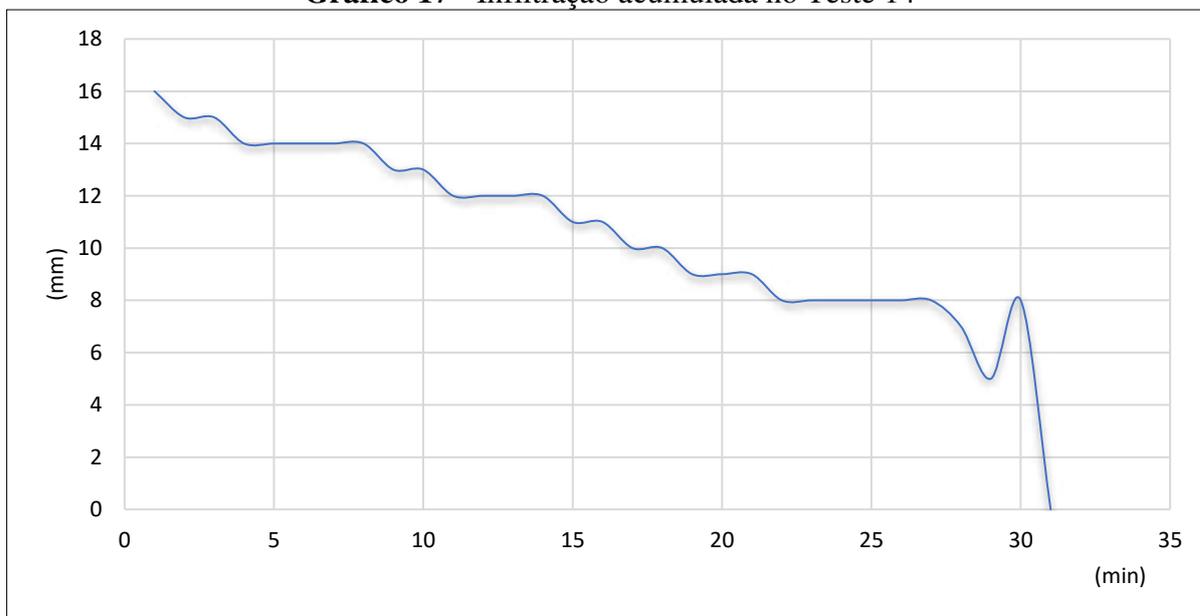
Em relação a morfologia, o teste 1 foi realizado em uma área propícia à acumulação de águas pluviais, numa depressão em relação a área em torno. A altitude é de 29 metros, com declividade de 0 a 2%. O valor de infiltração acumulada é de 16 mm (Gráfico 17), não sendo necessário haver recargas de água para a realização do teste.

**Foto 14** - Local do teste de infiltração 14 – Alto curso do rio Anil - São Luís – MA



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

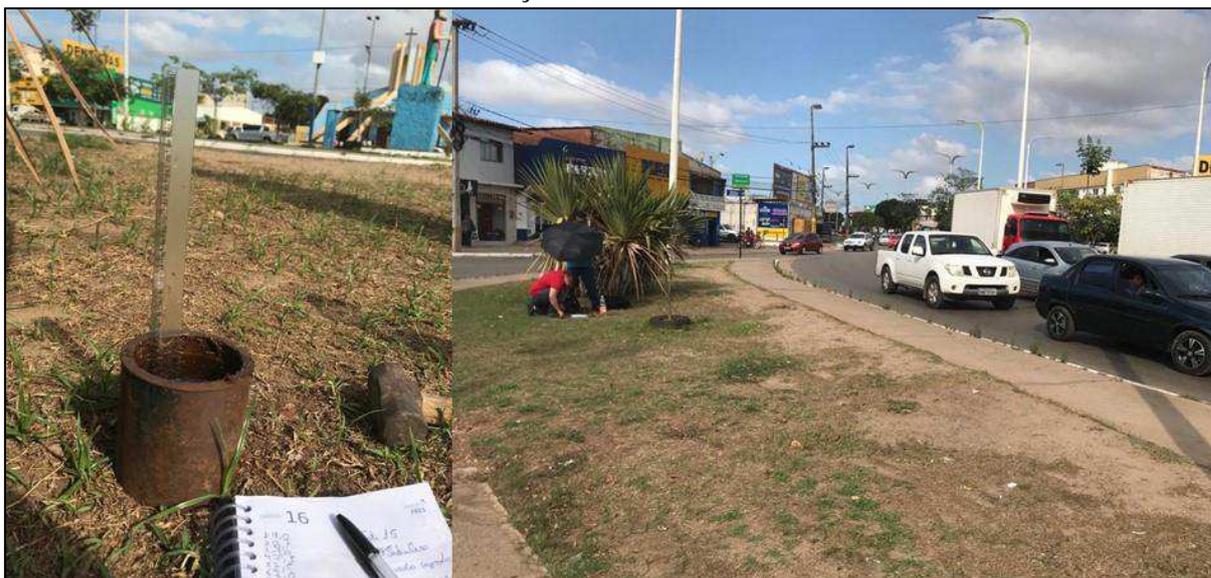
**Gráfico 17** - Infiltração acumulada no Teste 14



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

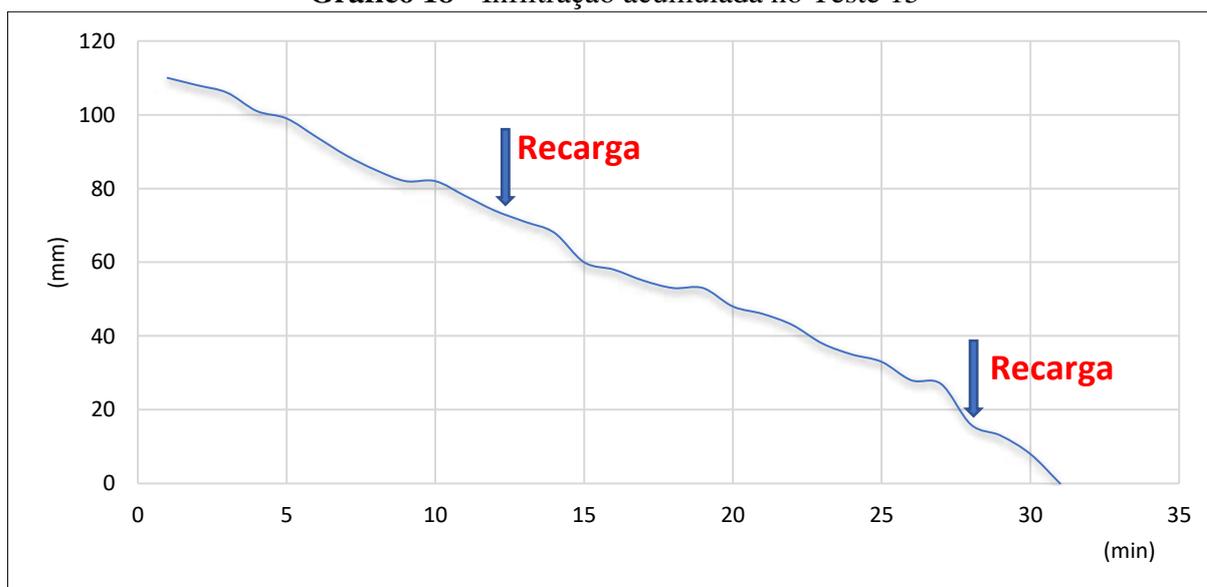
O teste 15 foi realizado na área do canteiro central entre as Avenidas Santos Dumont e Guajajaras. A área tem solo exposto e com arruamentos (Foto 15). Quanto à morfologia, tem-se tabuleiros com solos do tipo hidrológico B. A altitude é de 54m e declividade baixa de 0 a 2%, alcançando um valor de infiltração acumulada de 110 mm, sendo realizadas duas recargas nos minutos 12 e 27, como observado no gráfico 18.

**Foto 15** - Local do teste de infiltração 15 – Alto curso do rio Anil - São Luís – MA



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

**Gráfico 18** - Infiltração acumulada no Teste 15



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

O teste 16 foi realizado em uma área com grama e árvores próximas ao canal e sem muros. A residência próxima ao local é úmida em conformidade com o terreno (Foto 16). Foi observado o soterramento de uma área úmida, com características de afloramento de água.

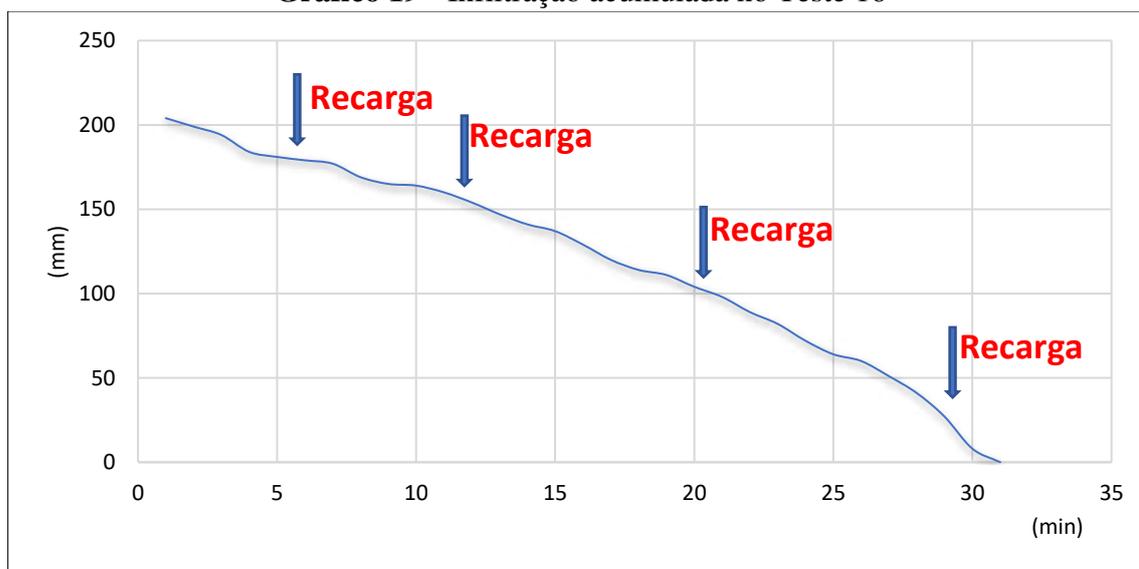
Em relação a morfologia, o teste foi realizado em áreas de colinas esparsas com altitude de 21 metros e declividade de 0 a 2%. Apresenta solo do tipo hidrológico B, o valor de infiltração acumulada de 204mm, sendo realizadas 4 recargas (Gráfico 19).

**Foto 16** - Local do teste de infiltração 16 – Alto curso do rio Anil - São Luís – MA



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

**Gráfico 19** - Infiltração acumulada no Teste 16



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

O teste 17 foi realizado dentro do terreno de um lava-jato no qual, o canal passava ao fundo terreno. A área é bastante arborizada, porém é perceptível o descarte de resíduos sólidos, além do avanço do desmatamento e ampliação de áreas de solo exposto (Foto 17).

**Foto 17** - Local do teste de infiltração 17 – Alto curso do rio Anil - São Luís – MA



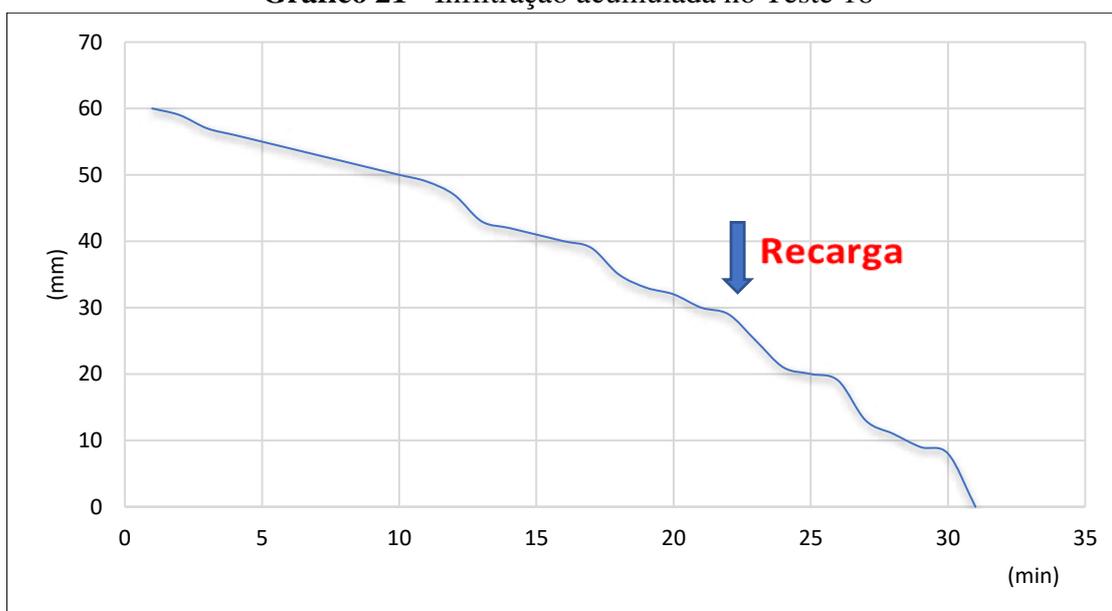
Fonte: Dados da pesquisa (2021).

No que tange à morfologia, a área é uma planície fluvial com altitude de 19 metros e declividade de 0 a 2%. O tipo hidrológico do solo é D, tendo o teste de infiltração acumulada, o valor de 156 mm, sendo realizadas 3 recargas durante o ensaio do teste 17 (Gráfico 20).

**Gráfico 20 - Infiltração acumulada no Teste 17**

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

O teste 18 foi realizado na área urbanizada com solo exposto. A área do ensaio possui um poço artesiano da Companhia de Saneamento Ambiental do Maranhão- CAEMA. A morfologia da área é caracterizada como: colinas esparsas, possuindo cerca de 46 metros e declividade expressiva de 0 a 2% e tipo hidrológico B. O valor obtido com o teste de infiltração foi de 60 mm, sendo realizada uma recarga, como é exposto no gráfico 21.

**Gráfico 21 - Infiltração acumulada no Teste 18**

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

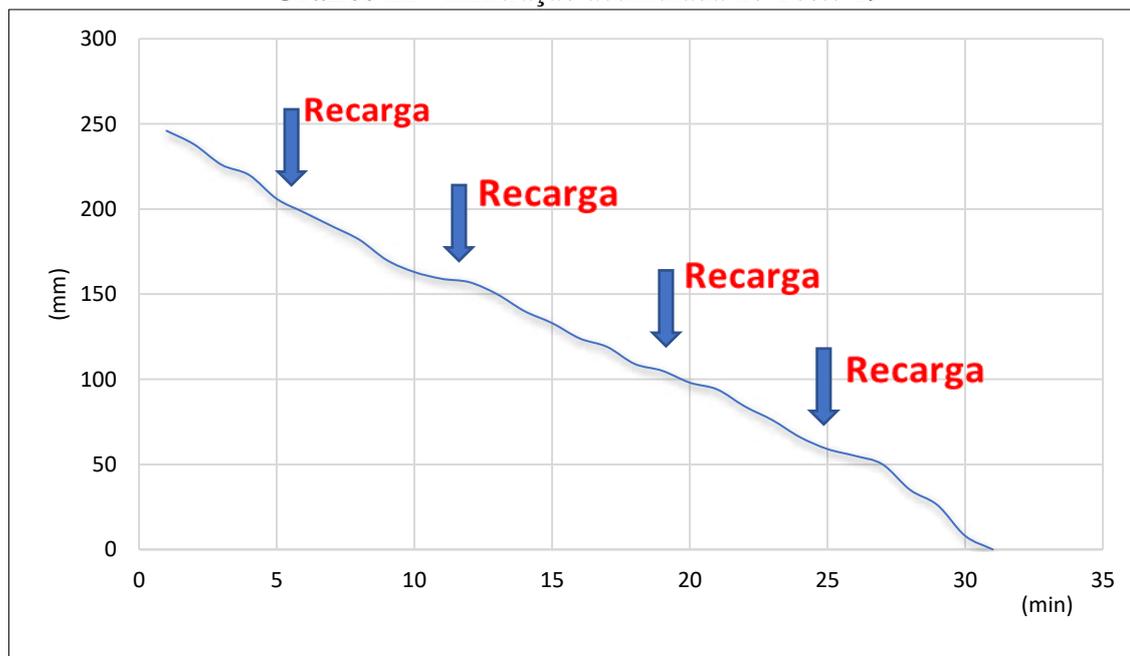
O teste 19, foi realizado em uma praça com árvores, tendo solo do tipo hidrológico B (Foto 19). No entorno do teste 20 há residências nas mediações. O relevo apresenta tabuleiro com altitude de 55m, próximo ao interflúvio da bacia, com declividade de 0 a 2%. A infiltração acumulada foi de 17mm, não sendo necessário haver recarga da área para a realização do teste.

**Foto 18** - Local do teste de infiltração 19 – Alto curso do rio Anil - São Luís – MA



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

**Gráfico 22** - Infiltração acumulada no Teste 19



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

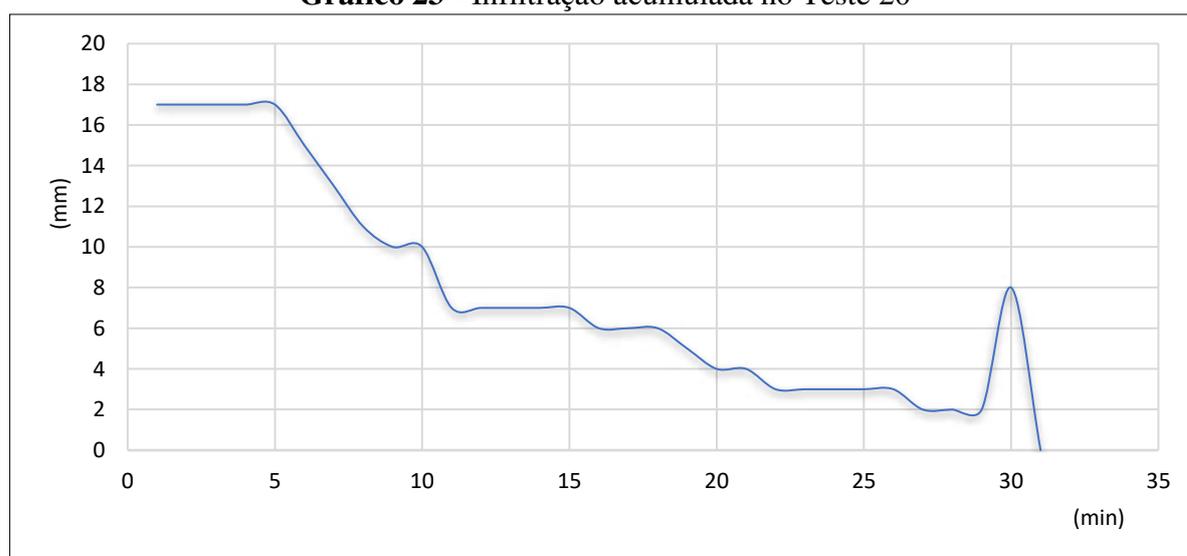
Localizado em uma área de praça com árvores, tendo tipo de uso o solo exposto (Foto 19), o teste 20 tem residências nas mediações, o tipo hidrológico B. Em relação a morfologia da área, o teste foi realizado em área de tabuleiro com altitude de 55 metros próximo ao interflúvio da bacia. A declividade é de 0 a 2%. Obtendo um valor de infiltração acumulada de 17 mm, como observado no gráfico 23. Não foram necessárias recargas para esse ensaio.

**Foto 19** - Local do teste de infiltração 20 – Alto curso do rio Anil - São Luís – MA



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

**Gráfico 23** - Infiltração acumulada no Teste 20



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

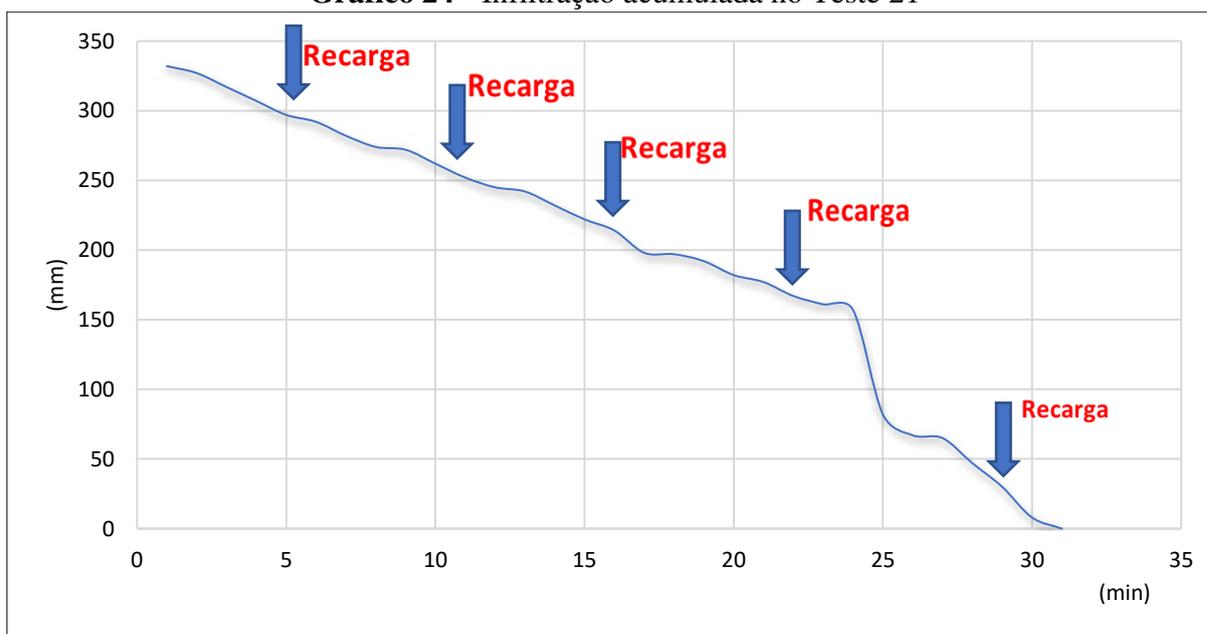
O terreno no qual foi realizado o teste 21 é de solo exposto com características terreno tecnogênico (Foto 20). Em relação à morfologia do terreno, a área possui um declive bastante expressivo. A área é de colinas esparsas, com altitude de 41 metros e declividade de 0 a 2%. O valor de infiltração acumulada neste teste foi de 332 mm (Gráfico 24), sendo realizadas 5 recargas, nos minutos 4, 10, 16, 23 e 29. O tipo hidrológico do Solo é B.

**Foto 20** - Local do teste de infiltração 21 – Alto curso do rio Anil - São Luís – MA



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

**Gráfico 24** - Infiltração acumulada no Teste 21



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

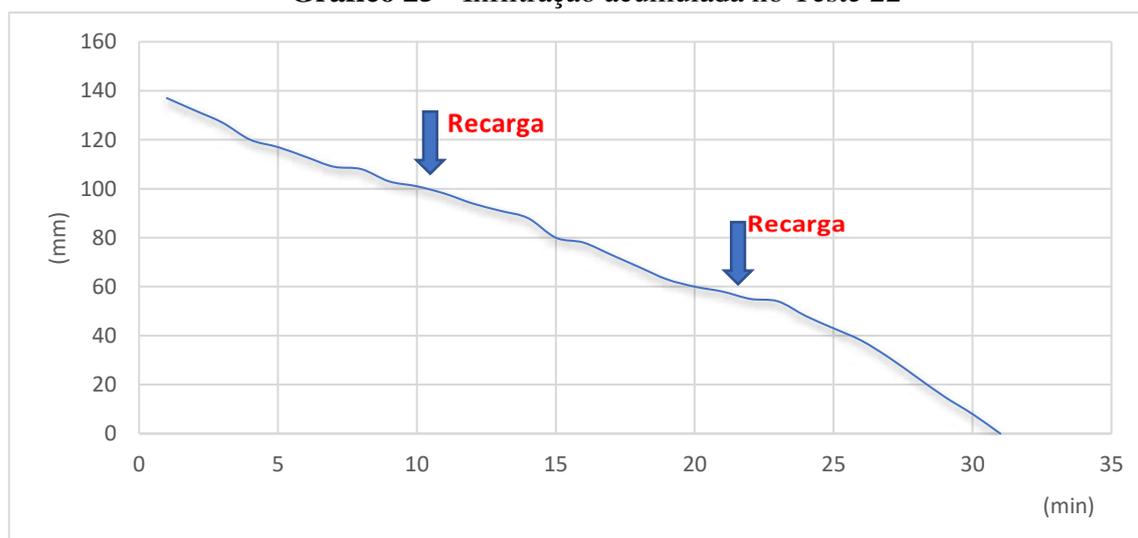
O teste 22 foi realizado em uma área de solo exposto próximo ao cruzamento da Av. dos Franceses com a Guajajaras. O local tinha características de terreno tecnogênico (Foto 21). Em relação as características morfológicas, o teste foi realizado em uma área plana do tabuleiro com altitude de tendo 55 mm e declividade baixa de 0 a 2%. O valor de infiltração acumulada alcançada com teste 22 foi de 173mm, sendo realizadas duas recargas nos minutos 10 e 22 do ensaio (Gráfico 25), sendo o tipo hidrológico B.

**Foto 21** - Local do teste de infiltração 22 – Alto curso do rio Anil - São Luís – MA



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

**Gráfico 25** - Infiltração acumulada no Teste 22



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

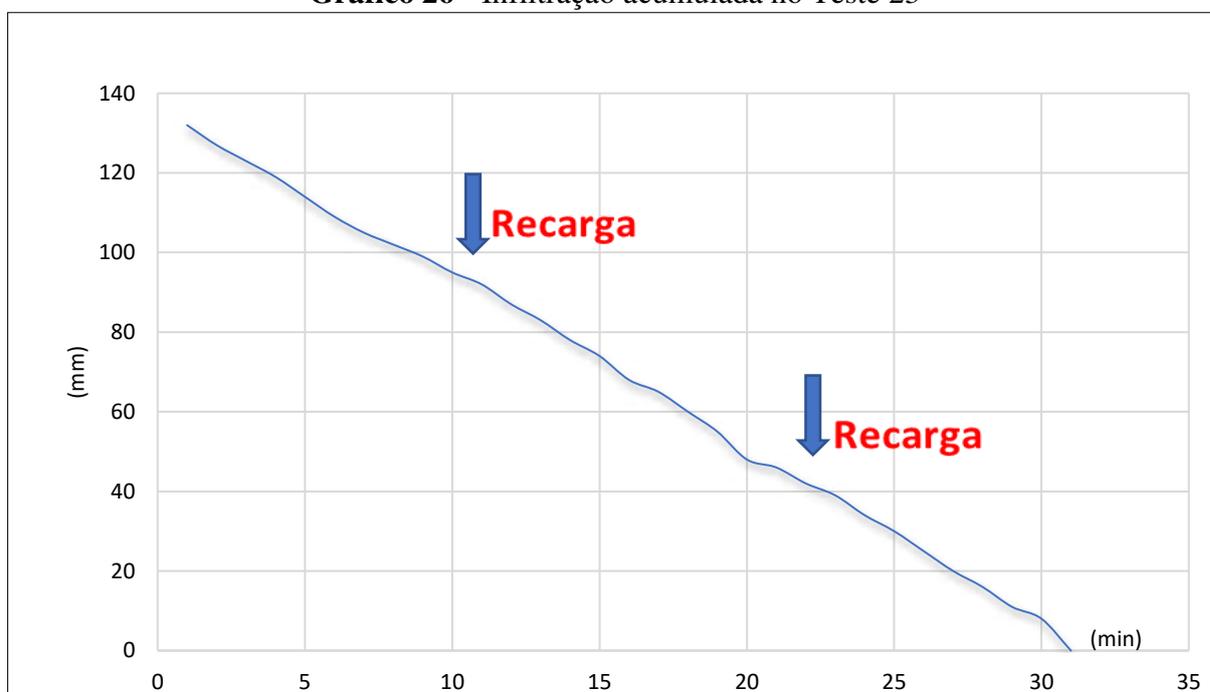
Tendo como características de solo exposto do tipo hidrológico B (Foto 22), porém arborizado, o teste 23 foi realizado em um terreno de uma impressa abandonada nas mediações da Av. Guajajaras. Realizado em área de tabuleiro, com altitude de 54 metros e declividade 0 a 2%, o valor de 132 mm de infiltração acumulada, com 2 recargas nos minutos 11 e 23 (Gráfico 26).

**Foto 22** - Local do teste de infiltração 23 – Alto curso do rio Anil - São Luís – MA



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

**Gráfico 26** - Infiltração acumulada no Teste 23



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

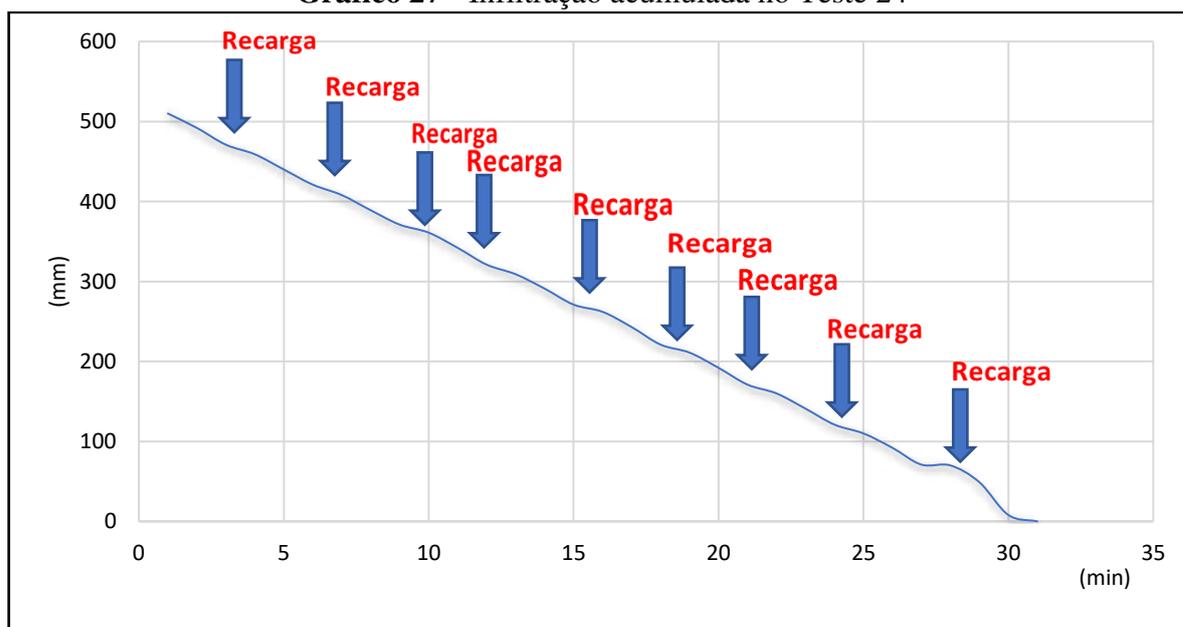
O teste 24 foi realizado em uma área de solo exposto, ao lado canal (Foto 23). Realizado na planície fluvial o rio Anil, o local do teste tem altitude de 17 metros com declividade de 0 a 2%. A infiltração acumulada no teste 24 foi de 510mm, sendo realizadas 9 recargas durante o teste, sendo estas realizadas nos minutos: 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24 e 27 (Gráfico 27). O tipo hidrológico da área de estudo é D.

**Foto 23** - Local do teste de infiltração 24 – Alto curso do rio Anil - São Luís – MA



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

**Gráfico 27** - Infiltração acumulada no Teste 24



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

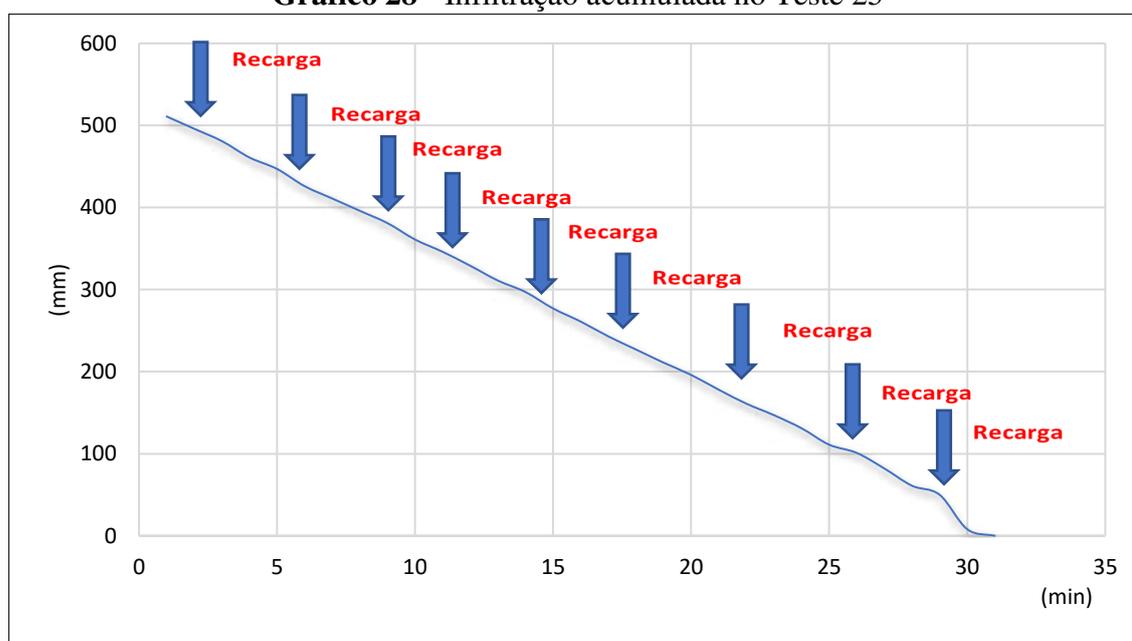
Realizado no terreno ao lado de uma residência que fica dentro da área de APP do canal, o local do teste 25 é caracterizado como uma área de grama solo exposto (Foto 25). Em relação a morfologia, o teste 25 foi realizado na planície fluvial do canal, que tem altitude de 23 metros e declividade 0 a 2%. O valor de infiltração acumulada foi de 511mm, sendo realizadas 10 recargas (Gráfico 28), sendo o tipo hidrológico do solo - B.

**Foto 24** - Local do teste de infiltração 25 – Alto curso do rio Anil - São Luís – MA



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

**Gráfico 28** - Infiltração acumulada no Teste 25

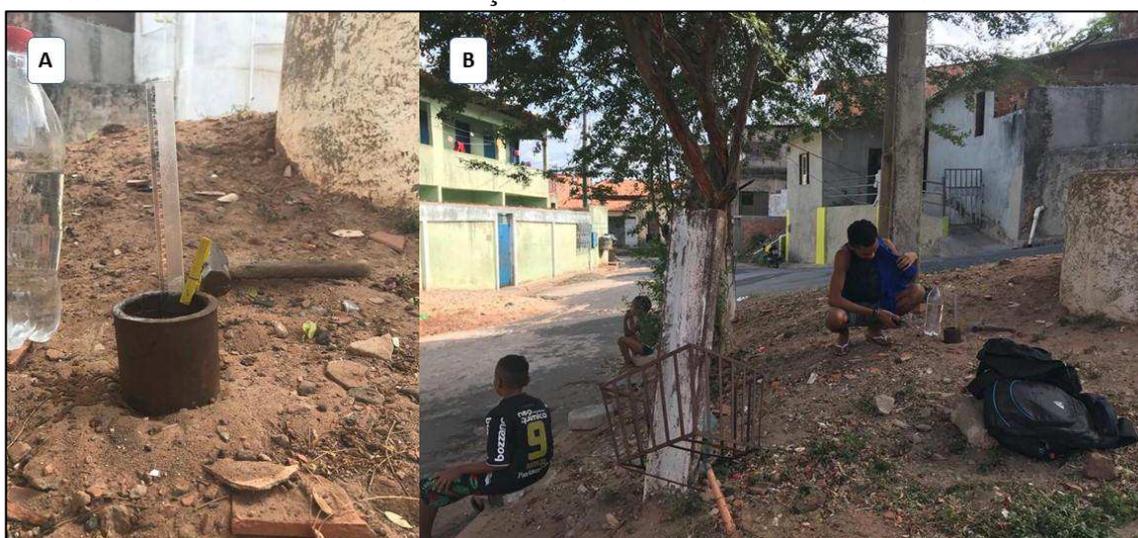


Fonte: Dados da pesquisa (2021).

O teste 26 foi realizado em uma área de solo exposto com características terreno tecnogênico. O local é um canteiro central de divisa entre ruas, sendo localizado em área urbana (Foto 26). O tipo hidrológico do solo da área de estudo é caracterizado pela técnica como D.

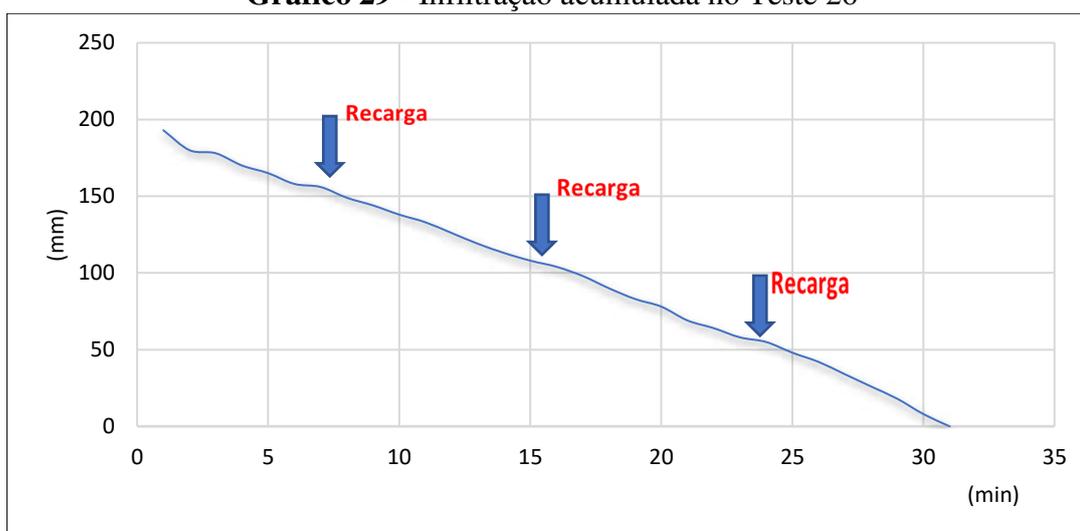
Em relação as características morfológicas o teste foi realizado em área de interflúvio da bacia hidrográfica do rio Anil, possuindo uma altitude de 35 metros e declive de 2 a 6%. O valor de infiltração acumulada obtido no ensaio 26 foi de 193 mm, sendo realizadas três recargas no minuto 7, 15 e 24 do teste (Gráfico 29).

**Foto 25** - Local do teste de infiltração 26 – Alto curso do rio Anil - São Luís – MA



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

**Gráfico 29** - Infiltração acumulada no Teste 26



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

O teste 27 foi realizado dentro das mediações do aeroporto ao lado de uma galeria pluvial. O local era cercado por vegetação, porém, o local onde foi realizado o teste de infiltração é de solo exposto (Foto 27).

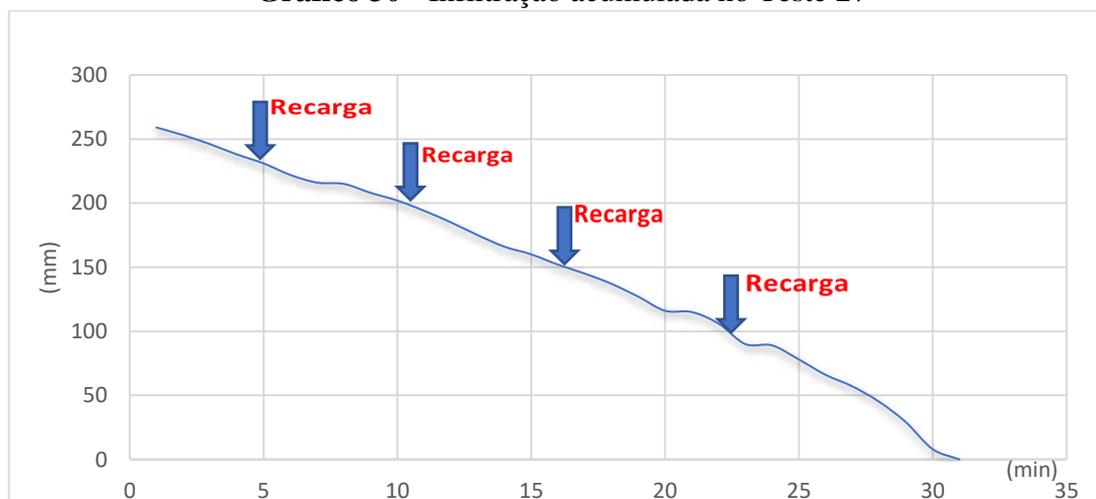
A área é de colinas esparsas com declividade de 0 a 2%, localizado no tabuleiro da bacia com altitude de 41 metros, tendo o tipo hidrológico B. A infiltração acumulada atingida com teste 27 foi de 259 mm, sendo necessárias quatro recargas, no minuto 4, 10, 16 e 23 (Gráfico 30).

**Foto 26** - Local do teste de infiltração 27 – Alto curso do rio Anil - São Luís – MA



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

**Gráfico 30** - Infiltração acumulada no Teste 27



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

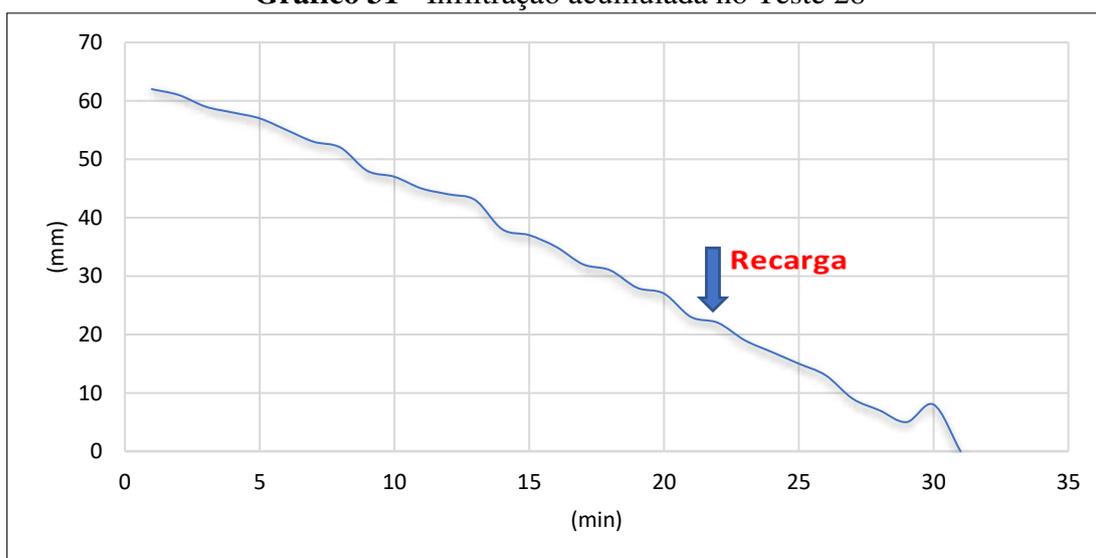
O teste 28 foi realizado em uma área urbana com solo exposto próximo à área comercial em suas mediações (Foto 28). O teste foi realizado numa área com morfologia de tabuleiro, com altitude de 55 metros e declividade de 0 a 2%. O valor de infiltração acumulada obtida com teste 28 foi de 62 mm (Gráfico 31), sendo necessária uma recarga no minuto 22 do teste. O tipo hidrológico do solo é denominado pela técnica do SCS como B.

**Foto 27** - Local do teste de infiltração 28 – Alto curso do rio Anil - São Luís – MA



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

**Gráfico 31** - Infiltração acumulada no Teste 28



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

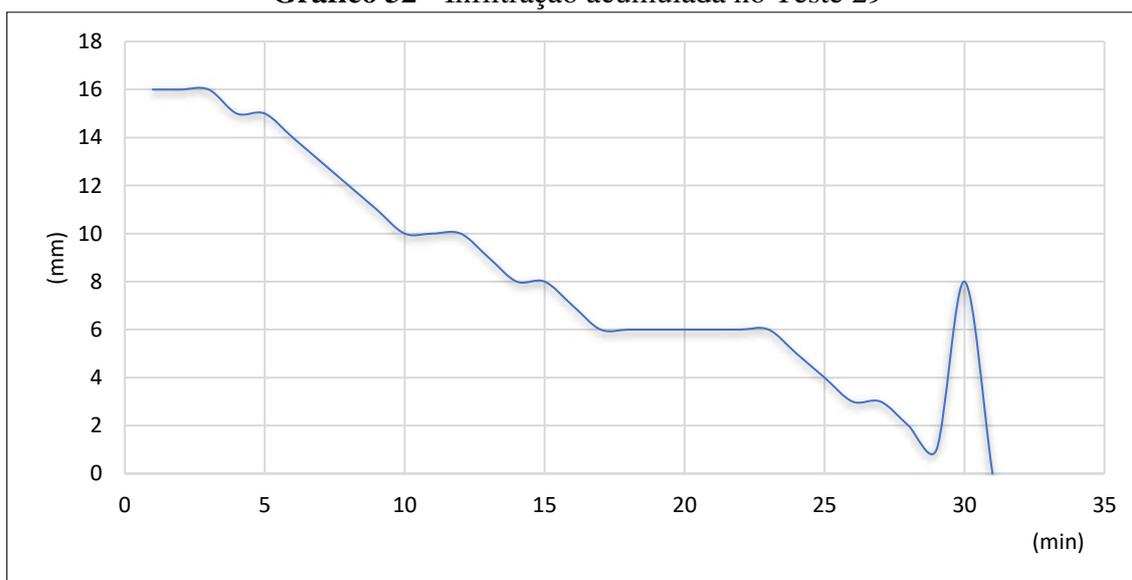
O teste 29 foi realizado na área de canteiro ao lado da Av. dos Franceses, no limite do alto curso, numa área com grama e solo exposto e com características de terreno tecnogênico (Foto 29). É uma área colinosa com altitude de 29 metros e declividade de 6 a 12%. O valor de infiltração obtida com teste foi de 16 mm (Gráfico 32), não sendo realizadas recargas, o local tem tipo hidrológico do solo B.

**Foto 28** - Local do teste de infiltração 29 – Alto curso do rio Anil - São Luís – MA



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

**Gráfico 32** - Infiltração acumulada no Teste 29



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

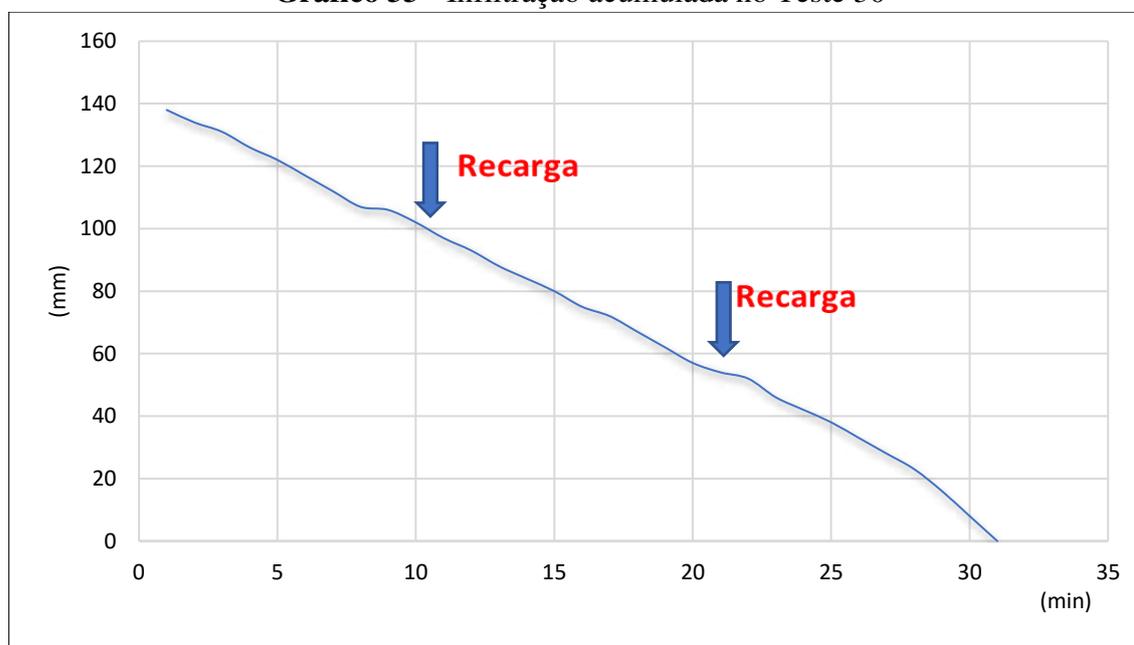
O teste 30 foi realizado na área da praça do bairro João de Deus, tendo como uso solo exposto com grama (Foto 30). No que tange a morfologia, o teste foi realizado em área de colinas esparsas com declividade de 6 a 12% e altitude de 29 metros. O valor de infiltração obtida com teste foi de 16 mm (Gráfico 33), não sendo realizadas recargas. O local tem tipo hidrológico do solo B.

**Foto 29** -Local do teste de infiltração 30 – Alto curso do rio Anil - São Luís – MA



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

**Gráfico 33** - Infiltração acumulada no Teste 30



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

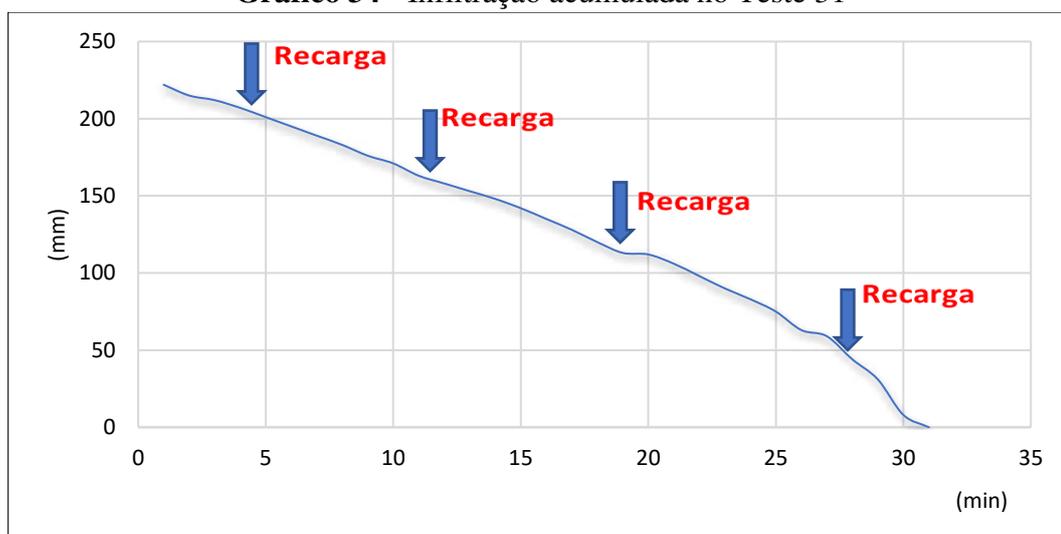
O teste 31 foi realizado num terreno baldio com solo exposto do tipo hidrológico B, com poucas árvores (Foto 31). A área tem declividade de 2 a 6% e altitude de 35 metros, num relevo deducional colinoso. No que tange ao valor de infiltração acumulada, o teste, obteve o valor de 222 mm (Gráfico 34), sendo realizadas 4 recargas, nos minutos 4, 11, 19 e 28.

**Foto 30** - Local do teste de infiltração 31 – Alto curso do rio Anil - São Luís – MA



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

**Gráfico 34** - Infiltração acumulada no Teste 31



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

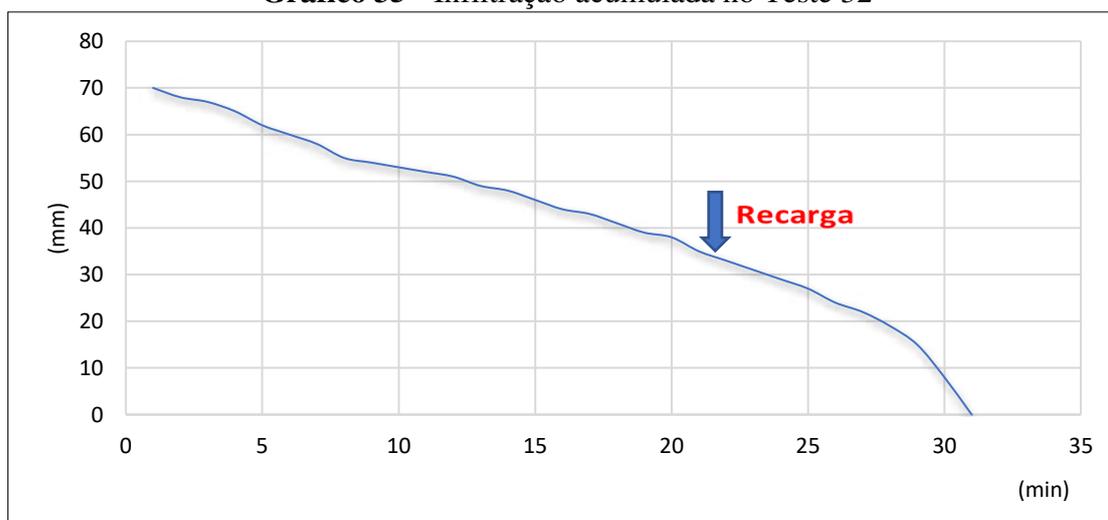
O teste 32 foi realizado em uma área de solo exposto do tipo hidrológico B, arborizada, próximo a residências (Foto 32). Em relação as características morfológicas da área, o teste foi realizado em colinas esparsas com altitude de 27 metros e declividade de 6 a 12%. O valor de infiltração acumulada foi de 70 mm, sendo realizada apenas uma recarga no minuto 21 do ensaio (Gráfico 35).

**Foto 31** - Local do teste de infiltração 32 – Alto curso do rio Anil - São Luís – MA



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

**Gráfico 35** - Infiltração acumulada no Teste 32



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

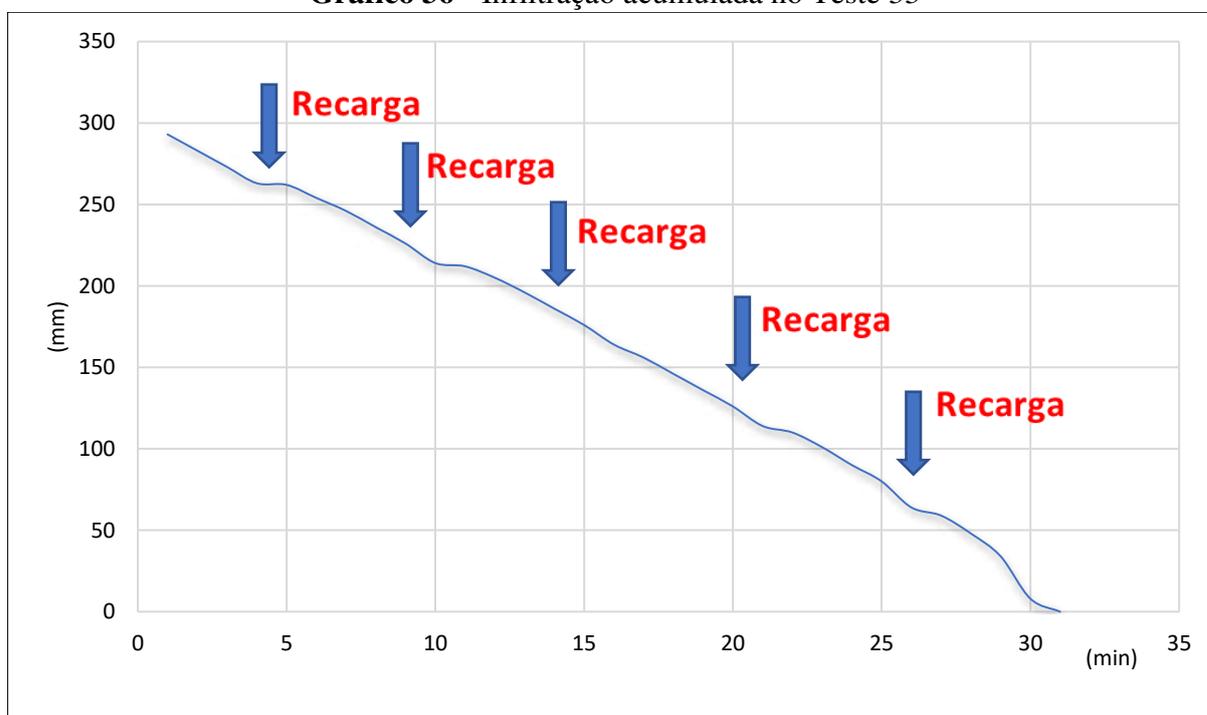
Realizado em área urbana de solo exposto, o teste 33 foi feito na praça do bairro (Foto 33). Com altitude de 49 metros e declividade de 0 a 2%, sendo mesmo realizado em área de tabuleiro, com tipo hidrológico B. O valor de Infiltração acumulada de 293mm, sendo realizadas 5 recargas, nos minutos 4, 9, 14, 20 e 26 (Gráfico 36).

**Foto 32** - Local do teste de infiltração 33 – Alto curso do rio Anil - São Luís – MA



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

**Gráfico 36** - Infiltração acumulada no Teste 33



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

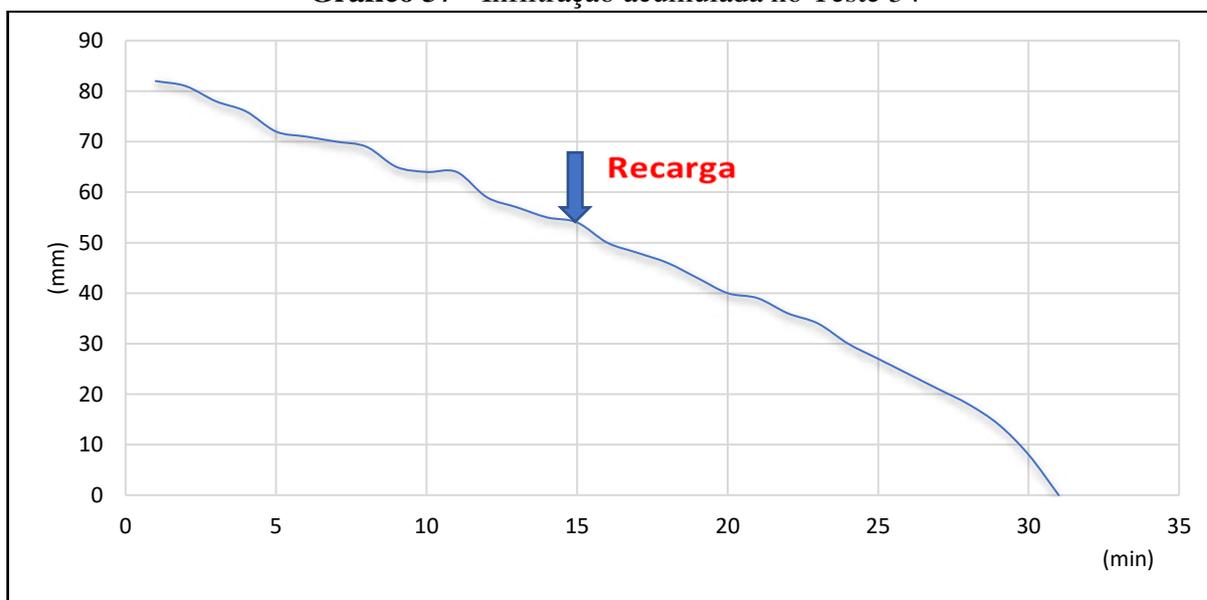
O teste 34 foi realizado em área arborizada com solo do tipo hidrológico D e próximo ao canal do rio Anil (Foto 34). O local era utilizado para o descarte de resíduos sólidos. É uma área colinosa com declividade de 6 a 12% e altitude de 30 metros. O valor de infiltração acumulada foi de 82 mm, sendo realizada apenas 1 recarga no minuto 15 (Gráfico 37).

**Foto 33** - Local do teste de infiltração 34 – Alto curso do rio Anil - São Luís – MA



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

**Gráfico 37** - Infiltração acumulada no Teste 34



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

O teste 35 foi realizado em uma área com solo exposto e com residências em suas mediações, com pouca grama e areia (Foto 35). No que diz a respeito da morfologia, a área tem altitude de 42 metros e declividade de 0 a 2% numa área colinosa.

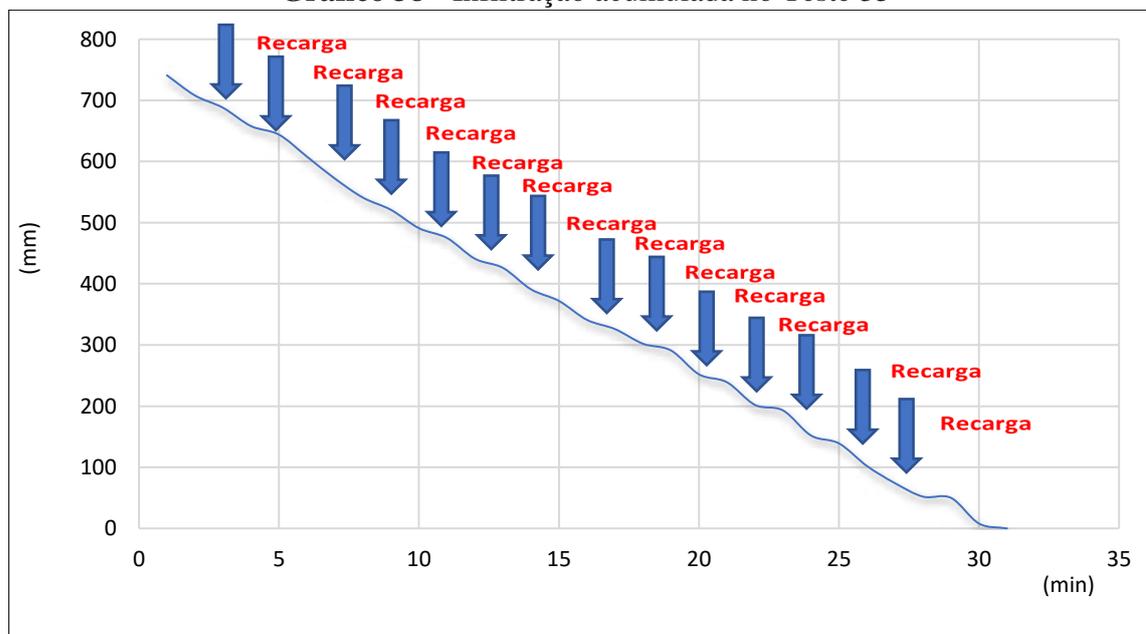
A infiltração acumulada neste teste foi de 741 mm, sendo este valor justificado pela presença de área no local. Foram realizadas 14 recargas, nos seguintes minutos: 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26 e 28. É observado uma recarga a cada um minuto de ensaio (Gráfico 38).

**Foto 34** - Local do teste de infiltração 35 – Alto curso do rio Anil - São Luís – MA



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

**Gráfico 38** - Infiltração acumulada no Teste 35



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

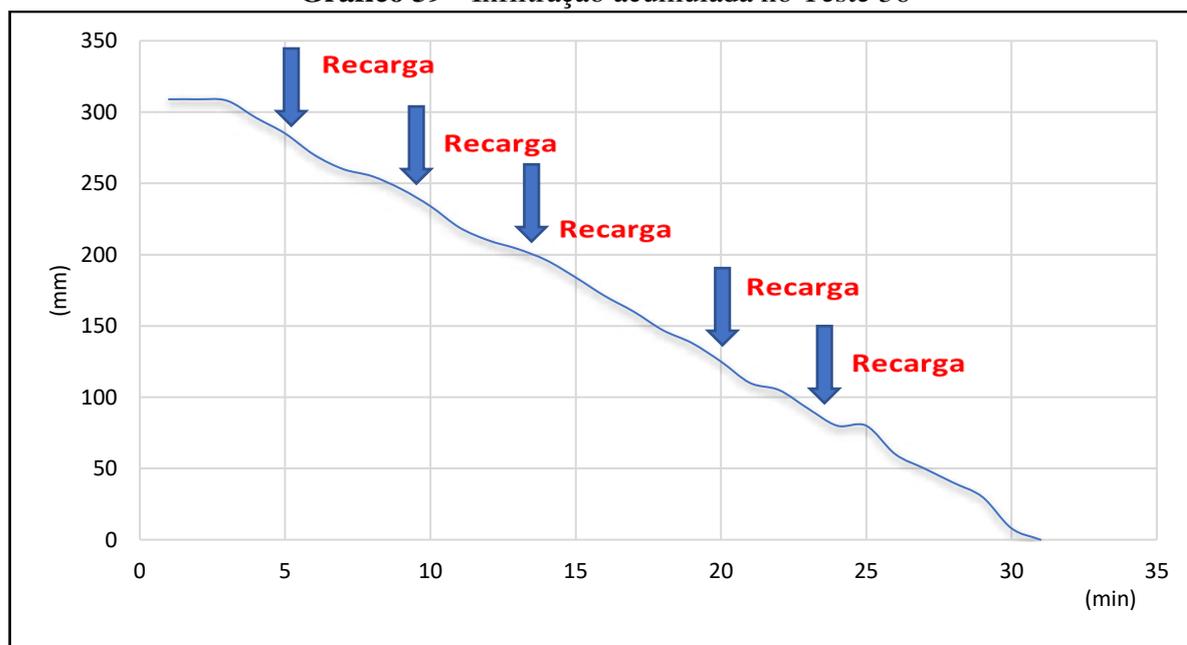
O teste 36 foi realizado em uma área de solo exposto na praça do bairro (Foto 36), com tipo hidrológico B. O local era cercado por residência com poucas árvores em suas mediações. Apresenta forma denudacional de colinas esparsas, com declividade 6 a 12% e altitude de 38m, e o valor de infiltração acumulada de 309mm, sendo realizadas 5 recargas, nos respectivos minutos: 4, 9, 13, 18 e 23 do teste (Gráfico 39).

**Foto 35** - Local do teste de infiltração 36 – Alto curso do rio Anil - São Luís – MA



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

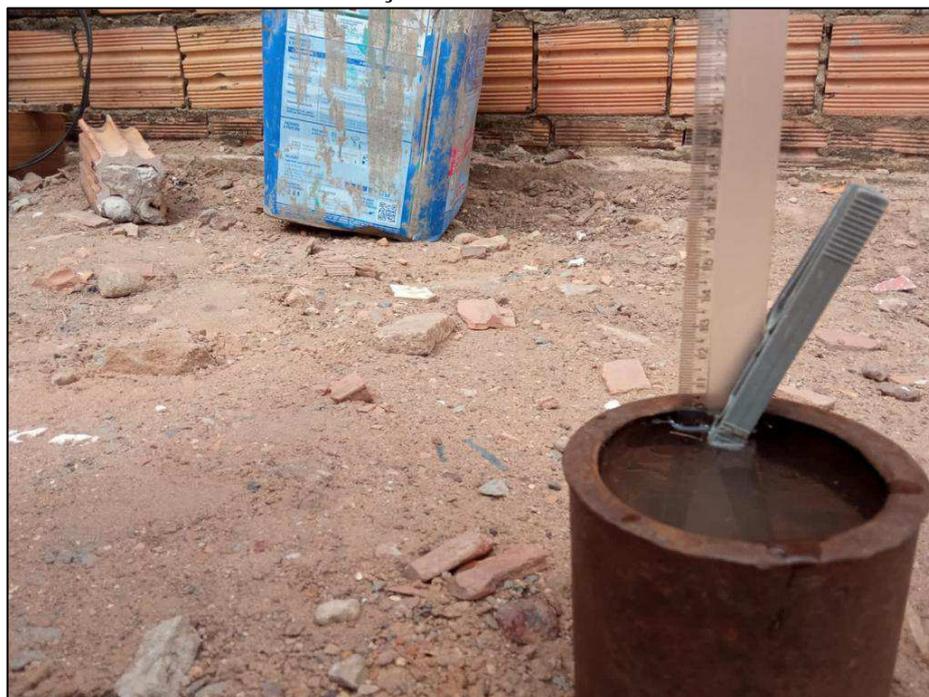
**Gráfico 39** - Infiltração acumulada no Teste 36



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

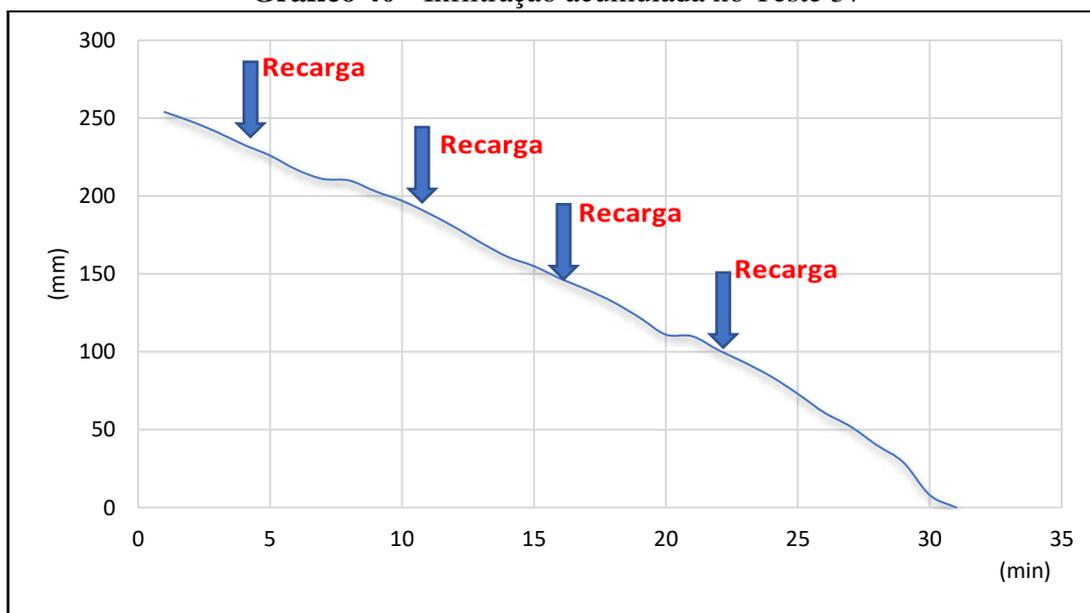
O teste 37 foi realizado em uma área de solo exposto, dentro de uma área em construção (Foto 37). Apresenta solo do tipo hidrológico B, forma tabular /colinosa, com altitude de 40 metros e declividade de 0 a 2%. O valor de infiltração acumulada foi de 254mm e foram realizadas 4 recargas, nos minutos 4, 10, 16 e 23 (Gráfico 40).

**Foto 36** - Local do teste de infiltração 37 – Alto curso do rio Anil - São Luís – MA



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

**Gráfico 40** - Infiltração acumulada no Teste 37



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

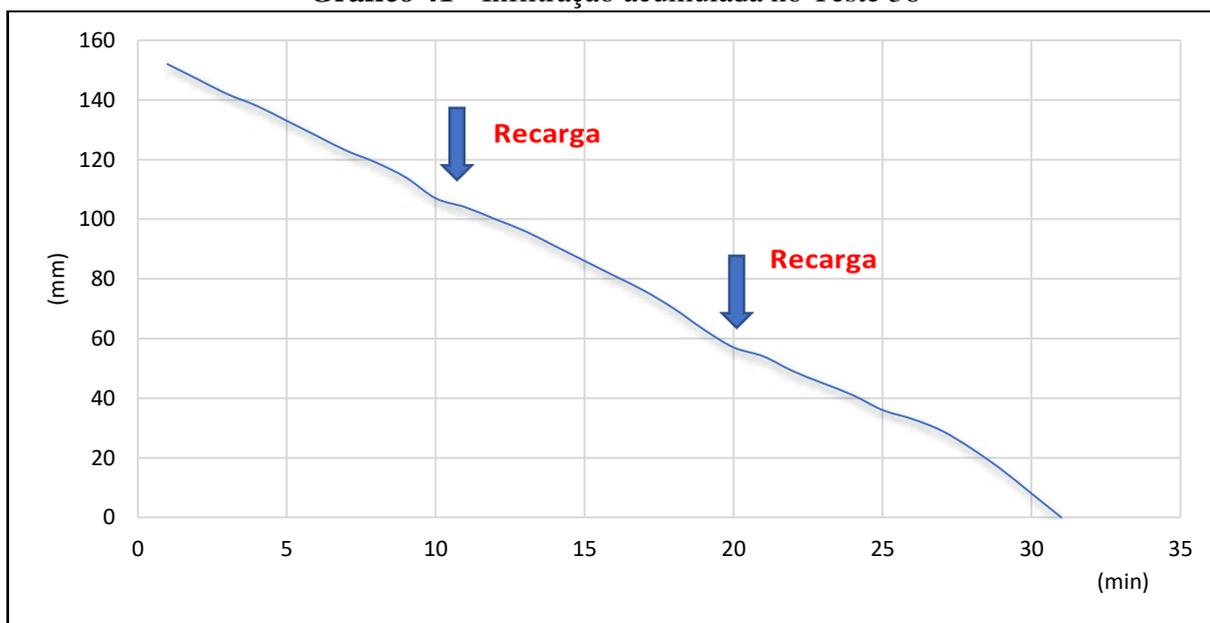
Realizado em uma área com solo exposto do tipo hidrológico B, com características de terreno tecnogênico (Foto 38). O local do teste 38 apresenta relevo colinoso, altitude de 47 metros e declividade de 2 a 6%. O teste apresenta infiltração acumulada de 152 mm, e foi necessário haver 2 recargas, nos minutos 10 e 20 do ensaio (Gráfico 41).

**Foto 37** - Local do teste de infiltração 38 – Alto curso do rio Anil - São Luís – MA



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

**Gráfico 41** - Infiltração acumulada no Teste 38



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

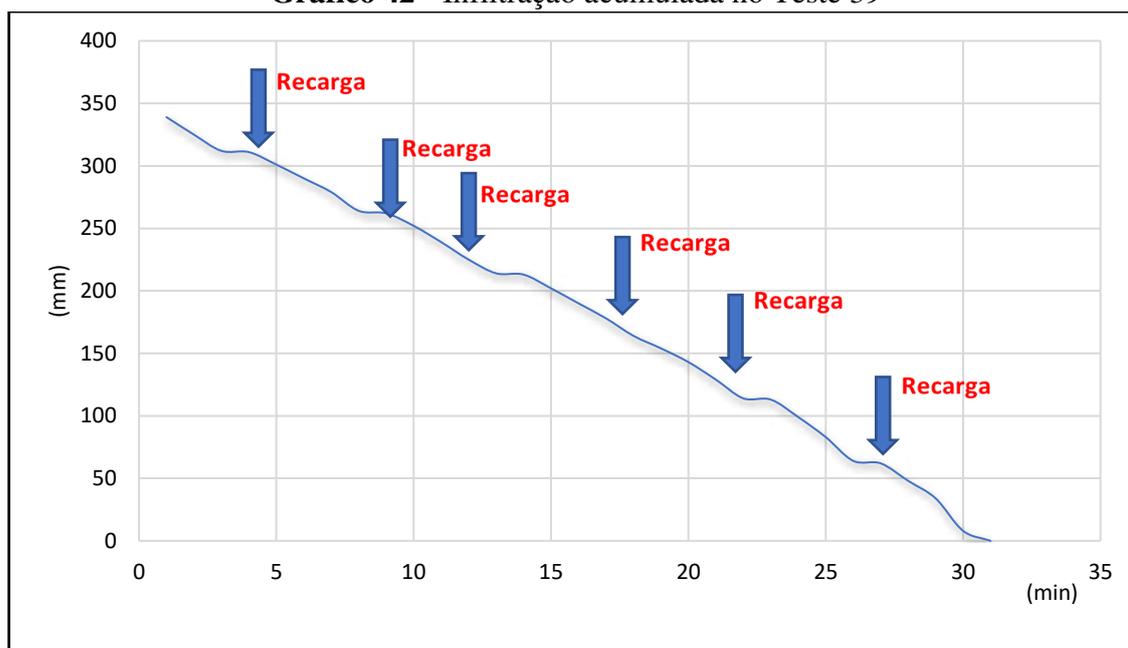
O teste 39 foi realizado em área de solo exposto do tipo hidrológico B, ao lado de residência e drenagem do canal (Foto 39). No que tange as características morfológicas, o teste foi realizado em área de colinas esparsas, possuindo 24 metros de altitude e declividade de 0 a 2%. Em relação ao valor de infiltração obtido, o teste 39 indicou 339 mm, sendo realizadas 6 recargas, nos minutos: 4, 8 12, 17, 22, 27 do teste (Gráfico 42).

**Foto 38** - Local do teste de infiltração 39 – Alto curso do rio Anil - São Luís – MA



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

**Gráfico 42** - Infiltração acumulada no Teste 39



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

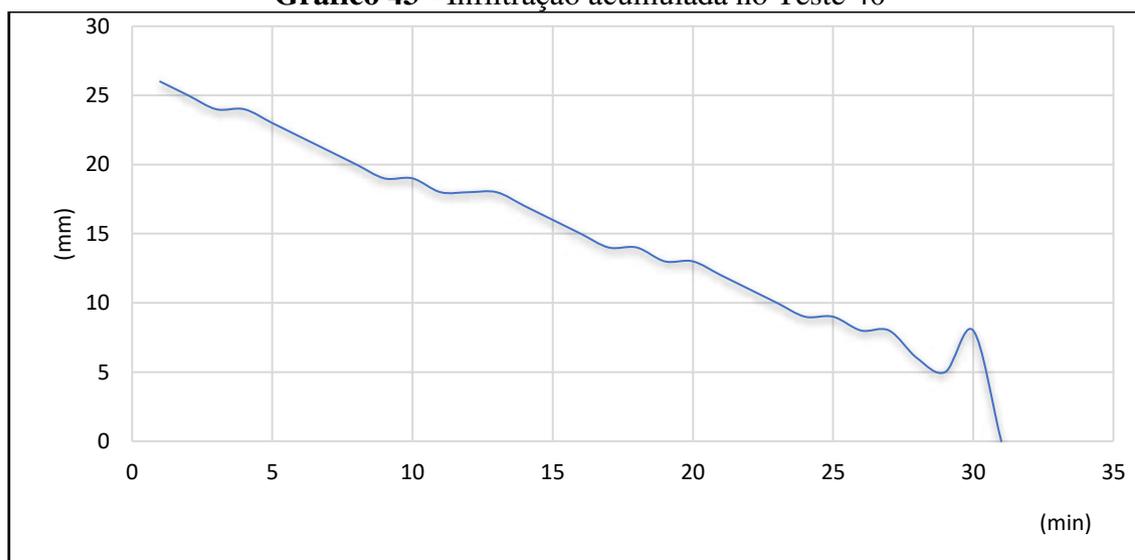
O teste 40 foi realizado em uma área de solo exposto (Foto 40), com tipo hidrológico-B. Possuindo cerca de 26 metros de altitude e declividade de 0 a 2% e a forma de relevo predominante é a colinosa. O valor de infiltração acumulada obtido foi de 26 mm, e não foi necessário a realização de recargas (Gráfico 43).

**Foto 39** - Local do teste de infiltração 40 – Alto curso do rio Anil - São Luís – MA



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

**Gráfico 43** - Infiltração acumulada no Teste 40



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

Ao observar os valores obtidos com os 40 testes de infiltração realizados no alto curso da bacia hidrográfica do rio Anil, é perceptível uma variação dos valores dos testes. Em suma, essa variação é justificada sobretudo pela diversificação das características morfológicas e pedológicas dos locais dos ensaios.

É necessário destacar que se tentou, mesmo com toda essa diversificação, a padronização dos locais dos testes, pois eles, em sua grande parte, foram realizados em áreas de praças e terrenos baldios com solo exposto no alto curso da bacia.

Ao analisar os dados nos gráficos expostos anteriormente, é perceptível que o teste que apresentou maior valor de infiltração acumulada foi o 35, numa área colinosa, com altitude de 42m., declividade de 0 a 2% e com Argissolos, como observado na tabela 14.

O segundo teste com maior valor de infiltração foi o teste 25, que tem como forma agradacional planície fluvial, com altitude de 23 metros e declividade 0 a 2%, sendo o solo Latossolo Vermelho-Amarelo. O terceiro maior valor foi no teste 24, também com morfologia agradacional, planície fluvial, com altitude de 17 metros e declividade de 0 a 1%. Seguidos sucessivamente do maior valor para o menor os: 39, 21, 36, 33, 27, 37, 19, 31, 16, 26, 13, 22, 17, 38, 8, 23, 1, 2, 15, 11, 12, 4, 34, 3, 32, 10, 28, 9, 18, 6, 7, 40, 20, 30, 29 e por fim, o teste 14 (Gráfico 44).

**Tabela 14** - Testes de infiltração realizados no alto curso da bacia hidrográfica do rio Anil – São Luís- MA

<b>TESTES</b>	<b>TIPO HIDROLÓGICO</b>	<b>TIPO DE USO</b>	<b>MORFOLOGIA</b>	<b>INFILTRAÇÃO ACUMULADA - POTENCIAL DE RETENÇÃO (S)</b>
<b>TESTE 01</b> <b>Coordenadas:</b> 584361.00/9715783.00 Trav. da R Pedreira	<b>B</b>	Solo exposto	-Tabuleiro; -Altitude: 42 metros; -Declividade: 6 a 12%.	<b>113 mm</b>
<b>TESTE 02</b> <b>Coordenadas:</b> 584718.38/9716322.38 R. São Benedito	<b>B</b>	Solo exposto	-Colinas esparsas; - Altitude: 32 metros; -Declividade 2 a 6%.	<b>139 mm</b>
<b>TESTE 03</b> <b>Coordenadas:</b> 584757.66/9718492.62 R. 25 de Dezembro	<b>D</b>	Área vegetada	-Planície fluvial; - Altitude: 16 metros; -Declividade: 0 a 2%.	<b>81 mm</b>
<b>TESTE 04</b> <b>Coordenadas:</b> 583815.00/9717895.00 Avenida João Pessoa	<b>B</b>	Área vegetada	-Colinas esparsas; - Altitude: 20 metros; -Declividade: 2 a 6%.	<b>87 mm</b>
<b>TESTE 05</b> <b>Coordenadas:</b> 584245.00/9714714.00 BR 135	<b>B</b>	Solo exposto	-Tabuleiro; - Altitude: 55 metros; -Declividade: 0 a 2%.	<b>293 mm</b>
<b>TESTE 06</b> <b>Coordenadas:</b> 586015.00/9719283.00 Rua Militar	<b>B</b>	Solo exposto	-Colinas esparsas; - Altitude: 41 metros; -Declivada: 2 a 6%.	<b>58 mm</b>

<b>TESTES</b>	<b>TIPO HIDROLÓGICO</b>	<b>TIPO DE USO</b>	<b>MORFOLOGIA</b>	<b>INFILTRAÇÃO ACUMULADA - POTENCIAL DE RETENÇÃO (S)</b>
<b>TESTE 07</b> <b>Coordenadas:</b> 585132.00/9716617.00 Avenida Projetada	<b>B</b>	Área vegetada	-Planície fluvial; - Altitude: 30 metros; -Declividade: 6 a 12%.	<b>55 mm</b>
<b>TESTE 08</b> <b>Coordenadas:</b> 583954.00/9717467.00 Rua do Eco Park	<b>B</b>	Solo exposto	-Colinas esparsas; - Altitude: 24 metros; -Declividade: 2 a 6%.	<b>144 mm</b>
<b>TESTE 09</b> <b>Coordenadas:</b> 584659.00/9718897.00 Rua dois	<b>B</b>	Solo exposto	-Colinas esparsas; - Altitude: 33 metros; -Declividade: 2 a 6%.	<b>61 mm</b>
<b>TESTE 10</b> <b>Coordenadas:</b> 584312.00/9718514.00 Rua da Matança	<b>B</b>	Solo exposto	-Planície fluvial; - Altitude: 14 metros; -Declividade: 0 a 2%.	<b>65 mm</b>
<b>TESTE 11</b> <b>Coordenadas:</b> 585366.00/ 9716251.00 Av. Dois	<b>B</b>	Solo exposto	-Tabuleiro; - Altitude: 48 metros; -Declividade: 6 a 12%.	<b>94 mm</b>
<b>TESTE 12</b> <b>Coordenadas:</b> 584675.00/ 9714469.00 Av. dos Libaneses	<b>B</b>	Solo exposto	-Tabuleiro - Altitude: 55 metros -Declividade: 0 a 2%	<b>93 mm</b>

<b>TESTES</b>	<b>TIPO HIDROLÓGICO</b>	<b>TIPO DE USO</b>	<b>MORFOLOGIA</b>	<b>INFILTRAÇÃO ACUMULADA - POTENCIAL DE RETENÇÃO (S)</b>
<b>TESTE 13</b> <b>Coordenadas:</b> 585734.00/ 9717739.00 Estr. Ribamar	<b>B</b>	Solo exposto	-Colinas esparsas; - Altitude: 30 metros; -Declividade: 6 a 12%.	<b>192 mm</b>
<b>TESTE 14</b> <b>Coordenadas:</b> 585310.00/ 9717810.00 Estr. Ribamar	<b>B</b>	Solo exposto	- Colinas espessas; - Altitude: 29 metros; - Declividade: 0 a 2%.	<b>16 mm</b>
<b>TESTE 15</b> <b>Coordenadas:</b> 585099.00/ 9715792.00 Av. Guajajaras	<b>B</b>	Solo exposto	-Tabuleiro; - Altitude: 54 metros; -Declividade: 0 a 2%.	<b>110 mm.</b>
<b>TESTE 16</b> <b>Coordenadas:</b> 584553.00/ 9716905.00 Rua João Alberto	<b>B</b>	Vegetada	-Colinas esparsas; - Altitude: 21 metros -Declividade: 0 a 2%.	<b>204 mm</b>
<b>TESTE 17</b> <b>Coordenadas:</b> 584463.00/ 9717480.00 R. São Carmelo	<b>D</b>	Solo exposto	Planície fluvial; -Altitude: 19 metros; Declividade: 0 a 2%.	<b>156 mm</b>
<b>TESTE 18</b> <b>Coordenadas:</b> 584074.00/ 9716973.00 R. Dep. Helena Heluy	<b>B</b>	Solo Exposto	Colinas esparsas; -Altitude: 46 metros -Declividade: 0 a 2%.	<b>60 mm</b>

<b>TESTES</b>	<b>TIPO HIDROLÓGICO</b>	<b>TIPO DE USO</b>	<b>MORFOLOGIA</b>	<b>INFILTRAÇÃO ACUMULADA - POTENCIAL DE RETENÇÃO (S)</b>
<b>TESTE 19</b> <b>Coordenadas:</b> 586456.00/ 9718562.00 R. Leôncio Castro	<b>B</b>	Vegetada	Colinas esparsas; -Altitude: 55 metros; Declividade: 0 a 2%.	<b>246 mm</b>
<b>TESTE 20</b> <b>Coordenadas:</b> 586383.00/ 9718171.00 Tv. Aurora	<b>B</b>	Solo Exposto	Tabuleiro; -Altitude: 55 metros; Declividade: 0 a 2%.	<b>17 mm</b>
<b>TESTE 21</b> <b>Coordenadas:</b> 585705.00/ 9718264.00 R. Alto De Boa Vista.	<b>B</b>	Solo exposto	Colinas esparsas; Altitude: 41 metros; Declividade: 0 a 2%.	<b>332 mm</b>
<b>TESTE 22</b> <b>Coordenadas:</b> 584359.00/ 9715004.00 BR 135	<b>B</b>	Solo exposto	-Tabuleiro; - Altitude: 55 metros; -Declividade: 0 a 2%.	<b>173 mm</b>
<b>TESTE 23</b> <b>Coordenadas:</b> 584592.00/ 9715246.00 Av. Gov. Matos Carvalho	<b>B</b>	Solo exposto	-Tabuleiro; -Altimetria: 54 metros; -Declividade: 0 a 2%.	<b>132 mm</b>
<b>TESTE 24</b> <b>Coordenadas:</b> 585002.00/ 9718500.0 Av. São Sebastião	<b>D</b>	Área vegetada	-Planície fluvial -Altimetria: 17 metros -Declividade: 0 a 2%.	<b>510 mm</b>

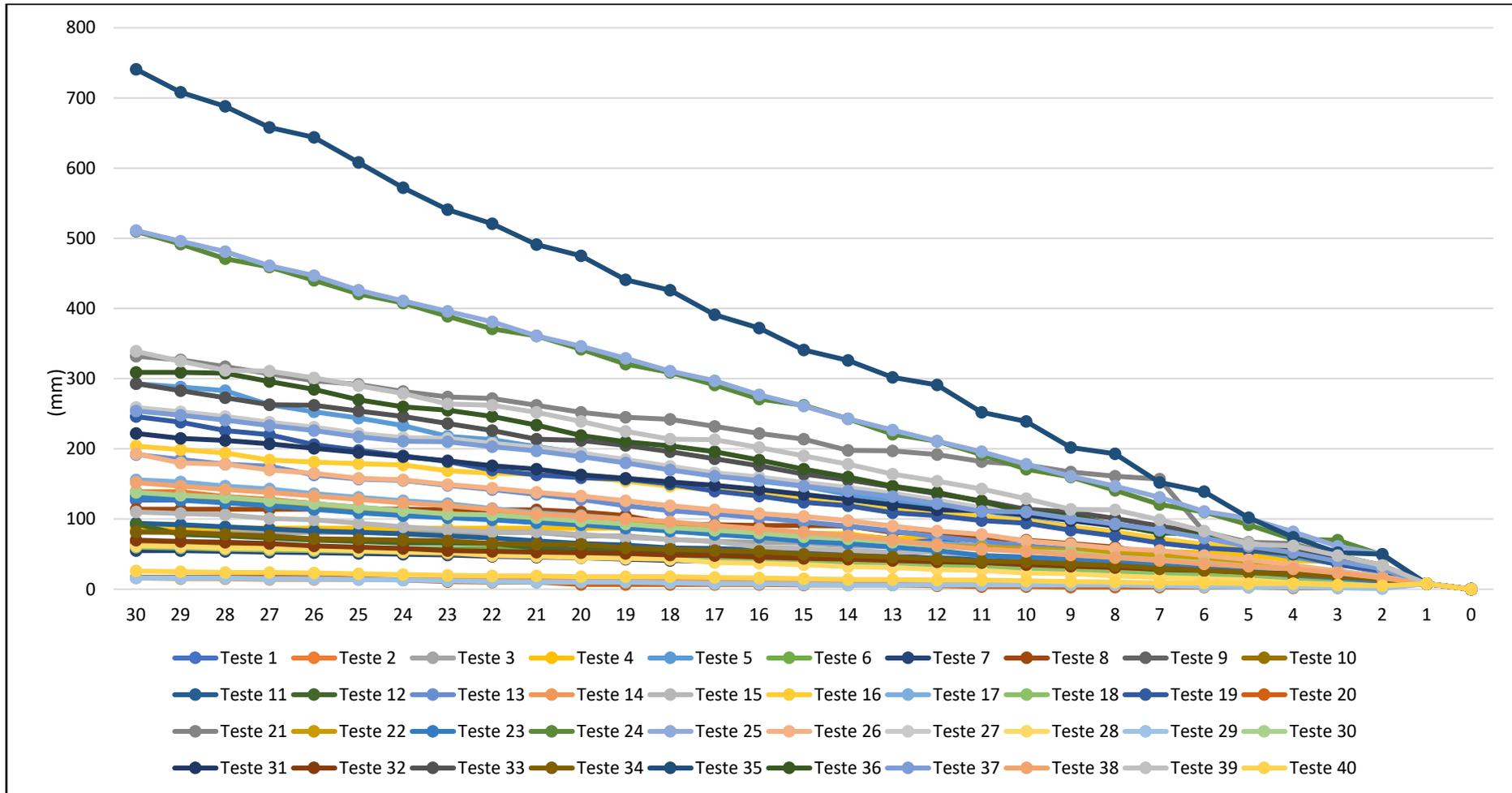
<b>TESTES</b>	<b>TIPO HIDROLÓGICO</b>	<b>TIPO DE USO</b>	<b>MORFOLOGIA</b>	<b>INFILTRAÇÃO ACUMULADA - POTENCIAL DE RETENÇÃO (S)</b>
<b>TESTE 25</b> <b>Coordenadas:</b> 585229.00/ 9718846.00 Av. São Sebastião	<b>B</b>	Solo exposto	-Planície fluvial; - Altitude: 23 metros; -Declividade: 0 a 2%.	<b>511 mm</b>
<b>TESTE 26</b> <b>Coordenadas:</b> 584226.00/ 9716301.00 Av. São Sebastião	<b>D</b>	Solo exposto	-Colinas esparsas - Altitude: 35 metros -Declividade: 2 a 6%.	<b>193 mm</b>
<b>TESTE 27</b> <b>Coordenadas:</b> 585233.00/ 9715347.00 R. do Piquizeiro	<b>B</b>	Solo exposto	Colinas esparsas; Declividade: 0 a 2%; - Altitude: 41 metros.	<b>259 mm</b>
<b>TESTE 28</b> <b>Coordenadas:</b> 585721.00/ 9715906.00 Tv. Marinheiro Saldanha	<b>B</b>	Solo exposto	-Tabuleiro; - Altitude: 55 metros; -Declividade: 0 a 2%.	<b>62 mm</b>
<b>TESTE 29</b> <b>Coordenadas:</b> 583206.00/ 583206.00 Av. dos Franceses	<b>B</b>	Solo Exposto	-Colinas esparsas; - Altitude: 29 metros; -Declividade: 6 a 12%.	<b>16 mm</b>
<b>TESTE 30</b> <b>Coordenadas:</b> 584940.00/ 9717438.00 R. Riachuelo	<b>B</b>	Solo exposto.	-Colinas esparsas; -Declividade: 6 a 12%; - Altitude: 29 metros.	<b>138 mm</b>

<b>TESTES</b>	<b>TIPO HIDROLÓGICO</b>	<b>TIPO DE USO</b>	<b>MORFOLOGIA</b>	<b>INFILTRAÇÃO ACUMULADA - POTENCIAL DE RETENÇÃO (S)</b>
<b>TESTE 31</b> <b>Coordenadas:</b> 585116.00/ 9716971.00 R. dos Bronzes	<b>B</b>	Solo exposto	-Colinas esparsas; - Altitude: 35 metros; -Declividade: 2 a 6%.	<b>222 mm</b>
<b>TESTE 32</b> <b>Coordenadas:</b> 584781.00/9717009.00 R. da Prata	<b>B</b>	Solo exposto	-Colinas esparsas; - Altitude: 27 metros; -Declividade: 6 a 12%.	<b>70 mm</b>
<b>TESTE 33</b> <b>Coordenadas:</b> 586639.00/ 9719224.00 R. Ana Amélia Vale	<b>B</b>	Solo exposto	-Tabuleiro; - Altitude: 49 metros; -Declividade: 0 a 2%.	<b>293 mm</b>
<b>TESTE 34</b> <b>Coordenadas:</b> 584518.00/ 9716052.00 R. Valdomiro De Morais	<b>D</b>	Solo exposto	-Colinas esparsas; - Altitude: 30 metros; -Declividade: 6 a 12%.	<b>82 mm</b>
<b>TESTE 35</b> <b>Coordenadas:</b> 586116.00/ 9718818.00 Tv. Treze de Maio	<b>B</b>	Solo exposto	-Colinas esparsas; - Altitude: 42 metros; -Declividade: 0 a 2%.	<b>741 mm</b>
<b>TESTE 36</b> <b>Coordenadas:</b> 584832.00/ 9718014.00 R. Dois	<b>B</b>	Solo exposto	-Colinas esparsas; - Altitude: 38 metros; -Declividade: 6 a 12%.	<b>309 mm</b>

<b>TESTES</b>	<b>TIPO HIDROLÓGICO</b>	<b>TIPO DE USO</b>	<b>MORFOLOGIA</b>	<b>INFILTRAÇÃO ACUMULADA - POTENCIAL DE RETENÇÃO (S)</b>
<b>TESTE 37</b> <b>Coordenadas:</b> 585456.00/ 9717426.00 R. São Pedro	<b>B</b>	Solo exposto	-Tabuleiro; - Altitude: 40 metros; -Declividade: 0 a 2%.	<b>254 mm</b>
<b>TESTE 38</b> <b>Coordenadas:</b> 586556.00/ 9718834.00 R. Machado de Assis	<b>B</b>	Solo exposto	-Colinas esparsas; - Altitude: 47 metros; -Declividade: 2 a 6%.	<b>152 mm</b>
<b>TESTE 39</b> <b>Coordenadas:</b> 585696.00/ 9719093.0 R. Três	<b>B</b>	Solo exposto	- Colinas esparsas; - Altitude: 24 metros; - Declividade: 0 a 2%.	<b>339 mm</b>
<b>TESTE 40</b> <b>Coordenadas:</b> 585584.00/ 9718722.00 R. Estrela Miúda	<b>B</b>	Solo exposto	-Colinas esparsas; - Altitude: 26 metros; -Declividade: 0 a 2 %.	<b>26 mm</b>

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

Gráfico 44 - Infiltração acumulada nos testes de infiltração realizados no alto curso da bacia do rio Anil- São Luís/ MA



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

Partindo dos dados expostos anteriormente, seguiu-se a metodologia proposta por Aguiar, Targa e Batista (2007). Nesse sentido, os valores obtidos com a realização dos testes de infiltração foram considerados como valor de potencial de retenção da água no solo (S), substituindo a equação 1, como observado na tabela anterior. Faz-se necessário destacar, que quanto maior for o valor de infiltração acumulada, menor será o valor de escoamento superficial que o local vai gerar.

Essa etapa foi de suma importância, pois foi possível realizar a comparação da técnica do SCS com a metodologia proposta pelos autores supracitados. Para dar prosseguimento ao processo de espacialização dos dados de escoamento superficial, denominado pela técnica como (Q), foi necessário analisar a precipitação de determinado período. Nesta pesquisa foi utilizado o dado da maior precipitação ocorrida em 2021.

#### 4.2.6 Precipitação Total da área

Para a aplicação da técnica do SCS, fez-se necessário analisar a precipitação total de determinado período para a estimativa do escoamento superficial da área, tendo em vista a necessidade desse parâmetro denominado com P. A pesquisa em questão analisou a maior precipitação ocorrida no ano de 2021, de acordo com metodologia também aplicada por Aguiar, Targa e Batista (2007).

A precipitação tem como principais características a localidade, duração e distribuição temporal. De acordo com Tucci (2001, p. 200) “a precipitação pode atuar sobre erosão do solo, inundações em áreas rurais e urbanas”.

Neste sentido, foi utilizada a maior precipitação de 2021, em decorrência da análise do uso e ocupação e escolha da imagem desse respectivo ano. A técnica adotada do SCS leva em consideração a precipitação total para estimativa do evento de acordo com equação 2.

Em suma, foram coletados dados de precipitação (INMET) do ano de 2021, sendo as precipitações totais diárias do ano de 2021 analisadas. Após esse processo, buscou-se encontrar a maior precipitação para aplicação da equação e análise do escoamento superficial com precipitação total para os diferentes tipos de uso e solo da área de estudo.

De acordo com Zanetti, Oliveira e Pruski (2006, p. 97), os dados pluviométricos “[...] disponíveis e confiáveis são fundamentais para uma eficaz previsão de eventos impactantes ao meio ambiente.”

Ao analisar os dados pluviométricos da área de estudo, observou-se que no ano de 2021 de acordo com dados coletados do site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), choveu 2.511,2 mm/ano, conforme o instituto supracitado. A maior precipitação diária ocorreu no dia 15 de março, de acordo com dados levantados da estação convencional do Itapiracó em São Luís (Tabela 15).

**Tabela 15** - Maior precipitação diária ocorrida no alto curso do rio Anil-São Luís / MA

Valores de precipitação total mm/dia	Datas	Duração
139,4	15/03/2021	24 horas

Fonte: INMET (2021) e organizado por Cruz (2021).

De acordo com técnica do SCS, entende-se que quando a precipitação for maior que 0,2 ocorrerá escoamento superficial, caso seja menor não haverá. A abstração está condicionada pelo valor de S.

Tendo em vista que já se têm os valores referentes ao potencial de retenção do solo (S), obtidos através da escolha do CN convencional e com os testes de infiltração, foi possível a resolução da equação 2 para estimativa do escoamento superficial (Q), utilizando os valores precipitação total (P) e abstração inicial (Ia) e potencial retenção do solo (S).

#### 4.2.7 Escoamento Superficial

Para estimativa do escoamento superficial como explicitado anteriormente, foi aplicado nesta pesquisa a técnica do SCS, sendo necessário os seguintes dados: precipitação total (P), abstração Inicial (Ia), potencial de retenção da água no solo (S) para calcular o escoamento superficial de determinada área. Na presente pesquisa, essa técnica foi aplicada no alto curso da bacia hidrográfica do rio Anil - São Luís/ Maranhão.

A técnica consiste na transformação de precipitação- vazão. Paz (2004, p. 61) esclarece que esse processo ocorre da seguinte forma: “a precipitação que cai sobre as vertentes (superfícies que contribuem para os cursos d’água da rede de drenagem) infiltra-se totalmente no solo até saturá-lo”.

Quando ocorre a saturação do solo, inicia-se o escoamento superficial que pode, dependendo do grau de impermeabilização do solo em determinada área, ocasionar enchentes, alagamentos e enxurradas, sobretudo por conta da acumulação de água, que de acordo com

França (2019, p. 126) é “[...] potencializada, devido à redução da capacidade de infiltração da água no solo e consequentemente maior escoamento superficial das águas”.

O entendimento da espacialização do escoamento superficial direto em uma bacia e de diferentes eventos de precipitação, é de extrema importância para a gestão de ações mitigadoras em desastres naturais, como enxurradas e enchentes. De acordo com Suguio e Bigarella (1990, p. 17), “a precipitação que ocorrer após atingida a razão de infiltração constante, isto é, o valor da capacidade de infiltração, corresponde ao excesso de precipitação, o qual fluirá como escoamento superficial.”

Um dos parâmetros mais afetados em virtude do uso e ocupação inadequados é o escoamento superficial, que é vulnerável às modificações e alterações na cobertura do solo, podendo aumentar de forma significativa o deflúvio, já que grande parte da água não efetua o processo de infiltração ao chegar à superfície do solo.

O escoamento superficial no alto curso da bacia hidrográfica do rio Anil foi calculado através da aplicação das propostas do SCS (1957) e de Aguiar, Targa e Batista (2007), utilizando a estimativa e comparação do escoamento superficial com a maior precipitação ocorrida no ano 2021.

A aplicação das duas técnicas, se fez necessária para a comparação de dados, no intuito de compreender como o escoamento superficial se comporta de acordo com a técnica tradicional e a proposta por Aguiar, Targa e Batista (2007). Os autores, comparam os dados da técnica do SCS com os valores de infiltração acumulada, obtidos com testes de infiltração.

Assim, foram realizadas duas estimativas para o escoamento superficial para cada tipo hidrológico de solo com os seus respectivos usos. Para tal, o escoamento superficial foi analisado a partir da maior precipitação ocorrida no ano de 2021, sendo: 139,4 mm/dia, que ocorreu no dia 15 de março de 2021.

Foram geradas estimativas de escoamento para as classes de área urbanizada, área vegetada, área comercial e solo exposto. Tendo em vista a maior facilidade de análise foram demonstrados dados separados por tipo hidrológico do solo e seus respectivos usos.

Para a estimativa do escoamento superficial convencional ou tradicional foi empregada a metodologia descrita pelo SCS, que leva em consideração tipo hidrológico do solo, uso da terra e a precipitação. Posteriormente, foi calculado o valor de escoamento superficial, como observado na tabela 16:

**Tabela 16** - Cálculo do escoamento superficial convencional do alto curso do rio Anil - São Luís/MA

Tipo de uso: Área Urbana	Precipitação (P): 139,4	Potencial de Retenção da água no solo (S): 22,08	Tipo Hidrológico: D Neossolos Gleissolos	CN: 92
$Q = (P - (0,2 \times S))^2 / (P + (0,8 \times S))$ $Q = (139,4 - (0,2 \times 22,08))^2 / (139,4 + (0,8 \times 22,08))$ $Q = (139,4 - 4,416)^2 / (139,4 + 17,664)$ $Q = (134,984)^2 / 157,064$ $Q = 18.220,68 / 157,064$ <p style="text-align: center;"><b>Q= 116mm</b></p>				
Tipo de uso: Área Vegetada	Precipitação (P): 139,4	Potencial de Retenção da água no solo (S): 75,87	Tipo Hidrológico: D Neossolos Gleissolos	CN: 77
$Q = (P - (0,2 \times S))^2 / (P + (0,8 \times S))$ $Q = (139,4 - (0,2 \times 75,87))^2 / (139,4 + (0,8 \times 75,87))$ $Q = (139,4 - 25,174)^2 / (139,4 + 60,696)$ $Q = (124,226)^2 / 200,096$ $Q = 15.432,0996 / 200,096$ <p style="text-align: center;"><b>Q= 77,12</b></p>				
Tipo de uso: Uso Comercial	Precipitação (P): 139,4	Potencial de Retenção da água no solo (S): 13,36	Tipo Hidrológico: D Neossolos Gleissolos	CN: 95
$Q = (P - (0,2 \times S))^2 / (P + (0,8 \times S))$ $Q = (139,4 - (0,2 \times 13,36))^2 / (139,4 + (0,8 \times 13,36))$ $Q = (139,4 - 2,672)^2 / (139,4 + 10,688)$ $Q = (136,728)^2 / 150,088$ $Q = 13.694,546 / 150,088$ <p style="text-align: center;"><b>Q=124,55</b></p>				
Tipo de uso: Solo Exposto	Precipitação (P): 139,4	Potencial de Retenção da água no solo (S): 31,39	Tipo Hidrológico: D Neossolos Gleissolos	CN: 95
$Q = (P - (0,2 \times S))^2 / (P + (0,8 \times S))$ $Q = (139,4 - (0,2 \times 31,39))^2 / (139,4 + (0,8 \times 31,39))$ $Q = (139,4 - 6,278)^2 / (139,4 + 25,112)$ $Q = (133,122)^2 / 164,512$ $Q = 17.721,4669 / 164,512$ <p style="text-align: center;"><b>Q=107,7</b></p>				

<b>Tipo de uso: Área Urbanizada</b>	<b>Precipitação (P): 139,4</b>	<b>Potencial de Retenção da água no solo (S): 44,82</b>	<b>Tipo Hidrológico: B Argissolos</b>	<b>CN: 85</b>
$Q = (P - (0,2 \times S))^2 / (P + (0,8 \times S))$ $Q = (139,4 - (0,2 \times 44,82))^2 / (139,4 + (0,8 \times 44,82))$ $Q = (139,4 - 8,964)^2 / (139,4 + 35,856)$ $Q = (130,436)^2 / 175,256$ $Q = 17.013,5501 / 175,256$ <p style="text-align: center;"><b>Q= 97,07 mm</b></p>				
<b>Tipo de uso: Área Vegetada</b>	<b>Precipitação (P): 139,4</b>	<b>Potencial de Retenção da água no solo (S): 139,4</b>	<b>Tipo Hidrológico: B Argissolos</b>	<b>CN: 61</b>
$Q = (P - (0,2 \times S))^2 / (P + (0,8 \times S))$ $Q = (139,4 - (0,2 \times 139,4))^2 / (139,4 + (0,8 \times 162,39))$ $Q = (139,4 - 32,478)^2 / (139,4 + 129,912)$ $Q = (106,922)^2 / 269,312$ $Q = 11.432,3141 / 269,312$ <p style="text-align: center;"><b>Q= 42,45 mm</b></p>				
<b>Tipo de uso: Solo Comercial</b>	<b>Precipitação (P): 139,4</b>	<b>Potencial de Retenção da água no solo (S): 22,08</b>	<b>Tipo Hidrológico: B Argissolos</b>	<b>CN: 92</b>
$Q = (P - (0,2 \times S))^2 / (P + (0,8 \times S))$ $Q = (139,4 - (0,2 \times 22,08))^2 / (139,4 + (0,8 \times 22,08))$ $Q = (139,4 - 4,416)^2 / (139,4 + 17,664)$ $Q = (134,984)^2 / 121,736$ $Q = 18.220,6803 / 121,736$ <p style="text-align: center;"><b>Q= 116 mm</b></p>				
<b>Tipo de uso: Solo Exposto</b>	<b>Precipitação (P): 139,4</b>	<b>Potencial de Retenção da água no solo (S): 98,77</b>	<b>Tipo Hidrológico: B Argissolos</b>	<b>CN: 79</b>
$Q = (P - (0,2 \times S))^2 / (P + (0,8 \times S))$ $Q = (139,4 - (0,2 \times 98,77))^2 / (139,4 + (0,8 \times 98,77))$ $Q = (139,4 - 19,754)^2 / (139,4 + 179,016)$ $Q = (119,646)^2 / 218,416$ $Q = 12.232,36 / 218,416$ <p style="text-align: center;"><b>Q= 65,54 mm</b></p>				

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

A partir dos dados obtidos com a resolução da equação 2, foram gerados os valores de escoamento superficial para os 4 tipos hidrológicos do solo da área de estudo, partindo da precipitação de 139,4 mm/dia.

Levando em consideração os 4 tipos de solo encontrados na área de estudo de acordo com Silva (2012), estes foram classificados em 2 grupos B e D de acordo com a técnica do SCS e tiveram o seu escoamento calculado partindo do uso e cobertura da terra, sendo utilizadas 4 classes: área urbana, vegetada, solo exposto e comercial de acordo com uso e ocupação da terra utilizado na presente pesquisa.

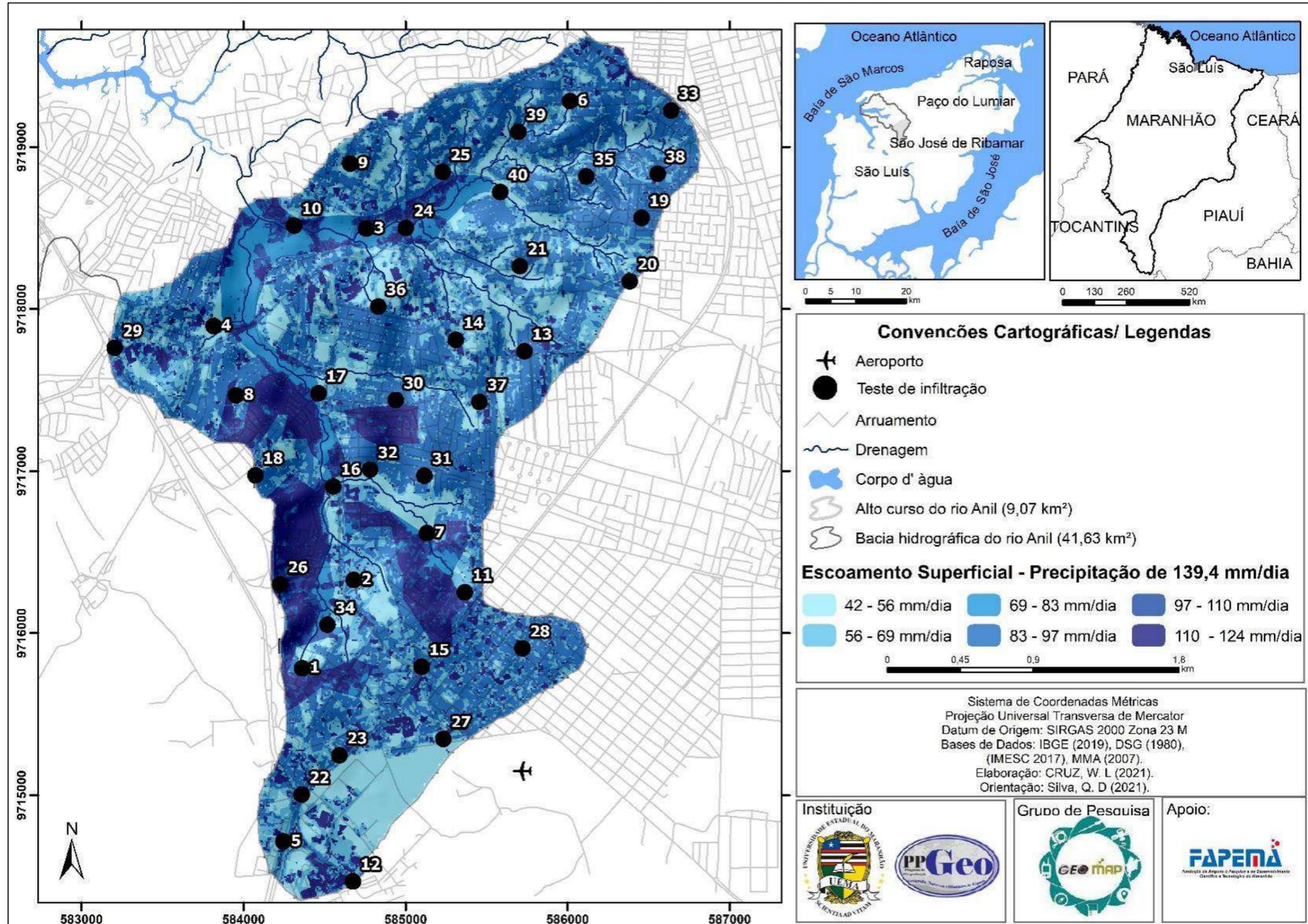
Ao analisar os dados obtidos, observou-se que as localidades onde foram gerados maiores valores de escoamento superficial, são os solos de tipo hidrológico D, com uso de área comercial, que obteve um valor de escoamento superficial de 124,55 mm, seguido por uso urbano, com mesmo tipo hidrológico que obteve o valor de 116 mm e por fim, hidrológico B, área comercial que obteve um valor de escoamento superficial 116 mm.

Em suma, ao analisar a espacialização do escoamento superficial através da técnica convencional, é perceptível a concentração do escoamento superficial sobretudo nas áreas de Neossolos e Gleissolos, que por conta das suas características hidrológicas e tipo de uso, de acordo com a técnica, propicia o aumento do escoamento superficial, sobretudo por conta da capacidade de retenção da água nesses determinados solos.

Nesse sentido, partindo da aplicação da técnica do SCS, o valor de escoamento superficial na área de estudada variou de 42 a 124 mm, para a precipitação de 139,4 mm/dia, como observado no mapa 13.

Os bairros do alto curso da bacia hidrográfica do rio Anil, que obtiveram maiores taxas de escoamento com a técnica convencional, foram: Vila Lobão, Vila Sarney Filho, Jardim São Cristóvão, Tirirical, Vila Conceição e Santo Antônio.

Mapa 13 - Escoamento superficial no alto curso da bacia hidrográfica do rio Anil para precipitação 139,4 mm/dia- São Luís/ MA



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

Para estimativa do escoamento superficial a partir dos testes infiltração, foram realizados cálculos, nos quais os valores do potencial de retenção da água no solo (S) foram substituídos pelos valores obtidos com os testes de infiltração, a denominada infiltração acumulada – Iac, seguindo a metodologia proposta pelos autores Aguiar, Targa e Batista (2007). Os valores obtidos com os testes de infiltração substituíram a equação 1 (Tabela 13) e foram inseridos na equação 2, substituindo o valor encontrado com a técnica tradicional (Tabela 17).

**Tabela 17** - Cálculo do escoamento superficial a partir dos testes de infiltração realizados no alto curso do rio Anil - São Luís/MA

Teste 1	P: 139,4	S:113	Tipo de uso: Solo exposto	Tipo Hidrológico: B
$Q = (P - (0,2 \times S))^2 / (P + (0,8 \times S))$ $Q = (139,4 - (0,2 \times 113))^2 / (139,4 + (0,8 \times 113))$ $Q = (139,4 - 26,6)^2 / (139,4 + 90,4)$ $Q = (112,8)^2 / 229,8$ $Q = 12.723,84 / 229,8$ $Q = 55,36 \text{ mm}$				
Teste 2	P: 139,4	S:139	Tipo de uso: Solo exposto	Tipo Hidrológico: B
$Q = (P - (0,2 \times S))^2 / (P + (0,8 \times S))$ $Q = (139,4 - (0,2 \times 139))^2 / (139,4 + (0,8 \times 139))$ $Q = (139,4 - 27,8)^2 / (139,4 + 111,2)$ $Q = (111,6)^2 / 250,61$ $Q = 12.454,56 / 250,61$ $Q = 49,69 \text{ mm}$				
Teste 3	P: 139,4	S:81	Tipo de uso: Área vegetada	Tipo Hidrológico: D
$Q = (P - (0,2 \times S))^2 / (P + (0,8 \times S))$ $Q = (139,4 - (0,2 \times 81))^2 / (139,4 + (0,8 \times 81))$ $Q = (139,4 - 16,2)^2 / (139,4 + 64,8)$ $Q = (123,2)^2 / 204,2$ $Q = 15.178,24 / 204,2$ $Q = 74,33 \text{ mm}$				

<b>Teste 4</b>	P: 139,4	<b>S:87</b>	<b>Tipo de uso: área vegetada</b>	<b>Tipo Hidrológico: B</b>
$Q = (P - (0,2 \times S))^2 / (P + (0,8 \times S))$ $Q = (139,4 - (0,2 \times 87))^2 / (139,4 + (0,8 \times 87))$ $Q = (139,4 - 17,4)^2 / (139,4 + 17,4)$ $Q = (122)^2 / 209$ $Q = 14.884 / 209$ $Q = 71,21 \text{ mm}$				
<b>Teste 5</b>	P: 139,4	<b>S:293</b>	<b>Tipo de uso: Solo exposto</b>	<b>Tipo Hidrológico: B</b>
$Q = (P - (0,2 \times S))^2 / (P + (0,8 \times S))$ $Q = (139,4 - (0,2 \times 293))^2 / (139,4 + (0,8 \times 293))$ $Q = (139,4 - 58,6)^2 / (139,4 + 234,4)$ $Q = (80,8)^2 / 373,8$ $Q = 6.528,64 / 373,8$ $Q = 17,46 \text{ mm}$				
<b>Teste6</b>	P: 139,4	<b>S:58</b>	<b>Tipo de uso: Solo exposto</b>	<b>Tipo Hidrológico: B</b>
$Q = (P - (0,2 \times S))^2 / (P + (0,8 \times S))$ $Q = (139,4 - (0,2 \times 58))^2 / (139,4 + (0,8 \times 58))$ $Q = (139,4 - 11,6)^2 / (139,4 + 46,4)$ $Q = (127,8)^2 / 185,8$ $Q = 16.332,84 / 185,8$ $Q = 87,90 \text{ mm}$				
<b>Teste 7</b>	P: 139,4	<b>S:55</b>	<b>Tipo de uso: Área vegetada</b>	<b>Tipo Hidrológico: B</b>
$Q = (P - (0,2 \times S))^2 / (P + (0,8 \times S))$ $Q = (139,4 - (0,2 \times 55))^2 / (139,4 + (0,8 \times 55))$ $Q = (139,4 - 11)^2 / (139,4 + 44)$ $Q = (112,8)^2 / 183,4$ $Q = 16.486,56 / 183,4$ $Q = 89,89 \text{ mm}$				
<b>Teste 8</b>	P: 139,4	<b>S:144</b>	<b>Tipo de uso: Solo exposto</b>	<b>Tipo Hidrológico: B</b>
$Q = (P - (0,2 \times S))^2 / (P + (0,8 \times S))$ $Q = (139,4 - (0,2 \times 144))^2 / (139,4 + (0,8 \times 144))$ $Q = (139,4 - 28,8)^2 / (139,4 + 115,2)$ $Q = (110,6)^2 / 254,6$ $Q = 12.232,36 / 254,6$ $Q = 48,04 \text{ mm}$				

<b>Teste 9</b>	P: 139,4	<b>S:61</b>	<b>Tipo de uso: Solo exposto</b>	<b>Tipo Hidrológico: B</b>
$Q = (P - (0,2 \times S))^2 / (P + (0,8 \times S))$ $Q = (139,4 - (0,2 \times 61))^2 / (139,4 + (0,8 \times 61))$ $Q = (139,4 - 12,2)^2 / (139,4 + 48,8)$ $Q = (127,2)^2 / 188,2$ $Q = 16.243,44 / 188,2$ <p style="text-align: center;"><b>Q=86,30 mm</b></p>				
<b>Teste 10</b>	P: 139,4	<b>S:65</b>	<b>Tipo de uso: Solo exposto</b>	<b>Tipo Hidrológico: B</b>
$Q = (P - (0,2 \times S))^2 / (P + (0,8 \times S))$ $Q = (139,4 - (0,2 \times 65))^2 / (139,4 + (0,8 \times 65))$ $Q = (139,4 - 13)^2 / (139,4 + 52)$ $Q = (126,4)^2 / 191,4$ $Q = 15.976,96 / 191,4$ <p style="text-align: center;"><b>Q= 83,47 mm</b></p>				
<b>Teste 11</b>	P: 139,4	<b>S:94</b>	<b>Tipo de uso: Solo exposto</b>	<b>Tipo Hidrológico: B</b>
$Q = (P - (0,2 \times S))^2 / (P + (0,8 \times S))$ $Q = (139,4 - (0,2 \times 94))^2 / (139,4 + (0,8 \times 94))$ $Q = (139,4 - 18,8)^2 / (139,4 + 75,4)$ $Q = (120,6)^2 / 214,6$ $Q = 14.544,34 / 214,6$ <p style="text-align: center;"><b>Q= 67,77 mm</b></p>				
<b>Teste 12</b>	P: 139,4	<b>S:93</b>	<b>Tipo de uso: área vegetada</b>	<b>Tipo Hidrológico: B</b>
$Q = (P - (0,2 \times S))^2 / (P + (0,8 \times S))$ $Q = (139,4 - (0,2 \times 93))^2 / (139,4 + (0,8 \times 93))$ $Q = (139,4 - 18,6)^2 / (139,4 + 74,4)$ $Q = (120,8)^2 / 213,8$ $Q = 14.592,64 / 213,8$ <p style="text-align: center;"><b>Q= 68,25 mm</b></p>				
<b>Teste 13</b>	P: 139,4	<b>S:192</b>	<b>Tipo de uso: Solo exposto</b>	<b>Tipo Hidrológico: B</b>
$Q = (P - (0,2 \times S))^2 / (P + (0,8 \times S))$ $Q = (139,4 - (0,2 \times 192))^2 / (139,4 + (0,8 \times 192))$ $Q = (139,4 - 38,4)^2 / (139,4 + 153,6)$ $Q = (101)^2 / 293$ $Q = 10.201 / 293$ <p style="text-align: center;"><b>Q=34,81 mm</b></p>				

<b>Teste 14</b>	P: 139,4	<b>S:16</b>	<b>Tipo de uso: Solo exposto</b>	<b>Tipo Hidrológico: B</b>
$Q = (P - (0,2 \times S))^2 / (P + (0,8 \times S))$ $Q = (139,4 - (0,2 \times 16))^2 / (139,4 + (0,8 \times 16))$ $Q = (139,4 - 3,2)^2 / (139,4 + 12,8)$ $Q = (136,2)^2 / 152,2$ $Q = 18.550,44 / 152,2$ $Q = 121,88 \text{ mm}$				
<b>Teste 15</b>	P: 139,4	<b>S:110</b>	<b>Tipo de uso: Solo exposto</b>	<b>Tipo Hidrológico: B</b>
$Q = (P - (0,2 \times S))^2 / (P + (0,8 \times S))$ $Q = (139,4 - (0,2 \times 110))^2 / (139,4 + (0,8 \times 110))$ $Q = (139,4 - 22)^2 / (139,4 + 88)$ $Q = (117,4)^2 / 227,4$ $Q = 13.782,76 / 227,4$ $Q = 60,61 \text{ mm}$				
<b>Teste 16</b>	P: 139,4	<b>S:204</b>	<b>Tipo de uso: Área Vegetada</b>	<b>Tipo Hidrológico: B</b>
$Q = (P - (0,2 \times S))^2 / (P + (0,8 \times S))$ $Q = (139,4 - (0,2 \times 204))^2 / (139,4 + (0,8 \times 204))$ $Q = (139,4 - 40,8)^2 / (139,4 + 163,2)$ $Q = (98,6)^2 / 302,6$ $Q = 9.721,96 / 302,6$ $Q = 32,12 \text{ mm}$				
<b>Teste 17</b>	P: 139,4	<b>S:156</b>	<b>Tipo de uso: Solo exposto</b>	<b>Tipo Hidrológico: D</b>
$Q = (P - (0,2 \times S))^2 / (P + (0,8 \times S))$ $Q = (139,4 - (0,2 \times 156))^2 / (139,4 + (0,8 \times 156))$ $Q = (139,4 - 31,2)^2 / (139,4 + 124,8)$ $Q = (108,2)^2 / 264,2$ $Q = 11.706,44 / 264,2$ $Q = 44,34 \text{ mm}$				
<b>Teste 18</b>	P: 139,4	<b>S:60</b>	<b>Tipo de uso: Solo exposto</b>	<b>Tipo Hidrológico: B</b>
$Q = (P - (0,2 \times S))^2 / (P + (0,8 \times S))$ $Q = (139,4 - (0,2 \times 60))^2 / (139,4 + (0,8 \times 60))$ $Q = (139,4 - 12)^2 / (139,4 + 48)$ $Q = (127,4)^2 / 187,4$ $Q = 16.230,76 / 187,4$ $Q = 86,61 \text{ mm}$				

<b>Teste 19</b>	P: 139,4	<b>S:246</b>	<b>Tipo de uso: Área Vegetada</b>	<b>Tipo Hidrológico: B</b>
$Q = (P - (0,2 \times S))^2 / (P + (0,8 \times S))$ $Q = (139,4 - (0,2 \times 246))^2 / (139,4 + (0,8 \times 246))$ $Q = (139,4 - 49,2)^2 / (139,4 + 196,8)$ $Q = (90,2)^2 / 336,2$ $Q = 8.136,04 / 336,2$ $Q = 24,2 \text{ mm}$				
<b>Teste 20</b>	P: 139,4	<b>S:17</b>	<b>Tipo de uso: Solo exposto</b>	<b>Tipo Hidrológico: B</b>
$Q = (P - (0,2 \times S))^2 / (P + (0,8 \times S))$ $Q = (139,4 - (0,2 \times 17))^2 / (139,4 + (0,8 \times 17))$ $Q = (139,4 - 3,4)^2 / (139,4 + 13,6)$ $Q = (136,2)^2 / 153$ $Q = 18.550,44 / 153$ $Q = 121,24 \text{ mm}$				
<b>Teste 21</b>	P: 139,4	<b>S:332</b>	<b>Tipo de uso: Solo exposto</b>	<b>Tipo Hidrológico: B</b>
$Q = (P - (0,2 \times S))^2 / (P + (0,8 \times S))$ $Q = (139,4 - (0,2 \times 332))^2 / (139,4 + (0,8 \times 332))$ $Q = (139,4 - 66,4)^2 / (139,4 + 265,6)$ $Q = (73)^2 / 405$ $Q = 5.329 / 405$ $Q = 13,15 \text{ mm}$				
<b>Teste 22</b>	P: 139,4	<b>S:173</b>	<b>Tipo de uso: Solo Exposto</b>	<b>Tipo Hidrológico: B</b>
$Q = (P - (0,2 \times S))^2 / (P + (0,8 \times S))$ $Q = (139,4 - (0,2 \times 173))^2 / (139,4 + (0,8 \times 173))$ $Q = (139,4 - 34,6)^2 / (139,4 + 138,4)$ $Q = (104,8)^2 / 277,8$ $Q = 10.983,04 / 277,8$ $Q = 39,53 \text{ mm}$				
<b>Teste 23</b>	P: 139,4	<b>S:132</b>	<b>Tipo de uso: Solo Exposto</b>	<b>Tipo Hidrológico: B</b>
$Q = (P - (0,2 \times S))^2 / (P + (0,8 \times S))$ $Q = (139,4 - (0,2 \times 132))^2 / (139,4 + (0,8 \times 132))$ $Q = (139,4 - 26,4)^2 / (139,4 + 105,6)$ $Q = (113,2)^2 / 242$ $Q = 12.769 / 242$ $Q = 52,76 \text{ mm}$				

<b>Teste 24</b>	P: 139,4	<b>S:510</b>	<b>Tipo de uso: Área Vegetada</b>	<b>Tipo Hidrológico: D</b>
$Q = (P - (0,2 \times S))^2 / (P + (0,8 \times S))$ $Q = (139,4 - (0,2 \times 510))^2 / (139,4 + (0,8 \times 510))$ $Q = (139,4 - 102)^2 / (139,4 + 408)$ $Q = (37,4)^2 / 547,4$ $Q = 1.398,76 / 547,4$ $Q = 2,55 \text{ mm}$				
<b>Teste 25</b>	P: 139,4	<b>S:511</b>	<b>Tipo de uso: Solo Exposto</b>	<b>Tipo Hidrológico: B</b>
$Q = (P - (0,2 \times S))^2 / (P + (0,8 \times S))$ $Q = (139,4 - (0,2 \times 511))^2 / (139,4 + (0,8 \times 511))$ $Q = (139,4 - 102,2)^2 / (139,4 + 408,8)$ $Q = (37,2)^2 / 548,2$ $Q = 1.383,84 / 548,2$ $Q = 2,52 \text{ mm}$				
<b>Teste 26</b>	P: 139,4	<b>S:193</b>	<b>Tipo de uso: Solo Exposto</b>	<b>Tipo Hidrológico: D</b>
$Q = (P - (0,2 \times S))^2 / (P + (0,8 \times S))$ $Q = (139,4 - (0,2 \times 193))^2 / (139,4 + (0,8 \times 193))$ $Q = (139,4 - 39,6)^2 / (139,4 + 154,4)$ $Q = (99,8)^2 / 293,8$ $Q = 9.960,04 / 293,8$ $Q = 33,90 \text{ mm}$				
<b>Teste 27</b>	P: 139,4	<b>S:259</b>	<b>Tipo de uso: Solo Exposto</b>	<b>Tipo Hidrológico: B</b>
$Q = (P - (0,2 \times S))^2 / (P + (0,8 \times S))$ $Q = (139,4 - (0,2 \times 259))^2 / (139,4 + (0,8 \times 259))$ $Q = (139,4 - 51,8)^2 / (139,4 + 207,2)$ $Q = (87,6)^2 / 346,6$ $Q = 7.673,76 / 346,6$ $Q = 22,14 \text{ mm}$				
<b>Teste 28</b>	P: 139,4	<b>S: 62</b>	<b>Tipo de uso: Solo Exposto</b>	<b>Tipo Hidrológico: B</b>
$Q = (P - (0,2 \times S))^2 / (P + (0,8 \times S))$ $Q = (139,4 - (0,2 \times 62))^2 / (139,4 + (0,8 \times 62))$ $Q = (139,4 - 12,4)^2 / (139,4 + 49,2)$ $Q = (127)^2 / 189$ $Q = 16.129 / 189$ $Q = 85,33 \text{ mm}$				

<b>Teste 29</b>	P: 139,4	<b>S:16</b>	<b>Tipo de uso: Solo Exposto</b>	<b>Tipo Hidrológico: B</b>
$Q = (P - (0,2 \times S))^2 / (P + (0,8 \times S))$ $Q = (139,4 - (0,2 \times 16))^2 / (139,4 + (0,8 \times 16))$ $Q = (139,4 - 3,2)^2 / (139,4 + 12,8)$ $Q = (136,2)^2 / 152,2$ $Q = 18.550,44 / 152,2$ $Q = 121,88 \text{ mm}$				
<b>Teste 30</b>	P: 139,4	<b>S:138</b>	<b>Tipo de uso: Solo Exposto</b>	<b>Tipo Hidrológico: B</b>
$Q = (P - (0,2 \times S))^2 / (P + (0,8 \times S))$ $Q = (139,4 - (0,2 \times 138))^2 / (139,4 + (0,8 \times 138))$ $Q = (139,4 - 27,6)^2 / (139,4 + 110)$ $Q = (111,8)^2 / 249,4$ $Q = 12.499,24 / 249,4$ $Q = 50,11 \text{ mm}$				
<b>Teste 31</b>	P: 139,4	<b>S:222</b>	<b>Tipo de uso: Solo Exposto</b>	<b>Tipo Hidrológico: B</b>
$Q = (P - (0,2 \times S))^2 / (P + (0,8 \times S))$ $Q = (139,4 - (0,2 \times 222))^2 / (139,4 + (0,8 \times 222))$ $Q = (139,4 - 44,4)^2 / (139,4 + 177,6)$ $Q = (95)^2 / 317$ $Q = 16.230,76 / 317$ $Q = 28,47 \text{ mm}$				
<b>Teste 32</b>	P: 139,4	<b>S:70</b>	<b>Tipo de uso: Solo Exposto</b>	<b>Tipo Hidrológico: B</b>
$Q = (P - (0,2 \times S))^2 / (P + (0,8 \times S))$ $Q = (139,4 - (0,2 \times 70))^2 / (139,4 + (0,8 \times 70))$ $Q = (139,4 - 14)^2 / (139,4 + 56)$ $Q = (125,4)^2 / 195,4$ $Q = 15.725,16 / 195,4$ $Q = 80,47 \text{ mm}$				
<b>Teste 33</b>	P: 139,4	<b>S:293</b>	<b>Tipo de uso: Solo Exposto</b>	<b>Tipo Hidrológico: B</b>
$Q = (P - (0,2 \times S))^2 / (P + (0,8 \times S))$ $Q = (139,4 - (0,2 \times 293))^2 / (139,4 + (0,8 \times 293))$ $Q = (139,4 - 58,6)^2 / (139,4 + 234,4)$ $Q = (80,8)^2 / 373,8$ $Q = 6.528,64 / 373,8$ $Q = 17,46 \text{ mm}$				

<b>Teste 34</b>	P: 139,4	<b>S:82</b>	<b>Tipo de uso: Solo Exposto</b>	<b>Tipo Hidrológico: D</b>
$Q = (P - (0,2 \times S))^2 / (P + (0,8 \times S))$ $Q = (139,4 - (0,2 \times 82))^2 / (139,4 + (0,8 \times 82))$ $Q = (139,4 - 16,4)^2 / (139,4 + 65,8)$ $Q = (123)^2 / 205$ $Q = 15.129 / 205$ $Q = 73,8 \text{ mm}$				
<b>Teste 35</b>	P: 139,4	<b>S:741</b>	<b>Tipo de uso: Solo Exposto</b>	<b>Tipo Hidrológico: B</b>
$Q = (P - (0,2 \times S))^2 / (P + (0,8 \times S))$ $Q = (139,4 - (0,2 \times 741))^2 / (139,4 + (0,8 \times 741))$ $Q = (139,4 - 148)^2 / (139,4 + 592,8)$ $Q = (-8,8)^2 / 187,4$ $Q = -16.230,76 / 732,2$ $Q = 0$				
<b>Teste 36</b>	P: 139,4	<b>S:309</b>	<b>Tipo de uso: Solo Exposto</b>	<b>Tipo Hidrológico: B</b>
$Q = (P - (0,2 \times S))^2 / (P + (0,8 \times S))$ $Q = (139,4 - (0,2 \times 309))^2 / (139,4 + (0,8 \times 309))$ $Q = (139,4 - 61,8)^2 / (139,4 + 247,2)$ $Q = (77,6)^2 / 386,6$ $Q = 77,6 / 386,6$ $Q = 15,57 \text{ mm}$				
<b>Teste 37</b>	P: 139,4	<b>S:254</b>	<b>Tipo de uso: Solo Exposto</b>	<b>Tipo Hidrológico: B</b>
$Q = (P - (0,2 \times S))^2 / (P + (0,8 \times S))$ $Q = (139,4 - (0,2 \times 254))^2 / (139,4 + (0,8 \times 254))$ $Q = (139,4 - 50,8)^2 / (139,4 + 203,2)$ $Q = (88,6)^2 / 342,6$ $Q = 7.849,96 / 342,6$ $Q = 22,91 \text{ mm}$				
<b>Teste 38</b>	P: 139,4	<b>S: 152</b>	<b>Tipo de uso: Solo Exposto</b>	<b>Tipo Hidrológico: B</b>
$Q = (P - (0,2 \times S))^2 / (P + (0,8 \times S))$ $Q = (139,4 - (0,2 \times 152))^2 / (139,4 + (0,8 \times 152))$ $Q = (139,4 - 30,4)^2 / (139,4 + 121,6)$ $Q = (109)^2 / 261$ $Q = 11.881 / 261$ $Q = 45,52 \text{ mm}$				

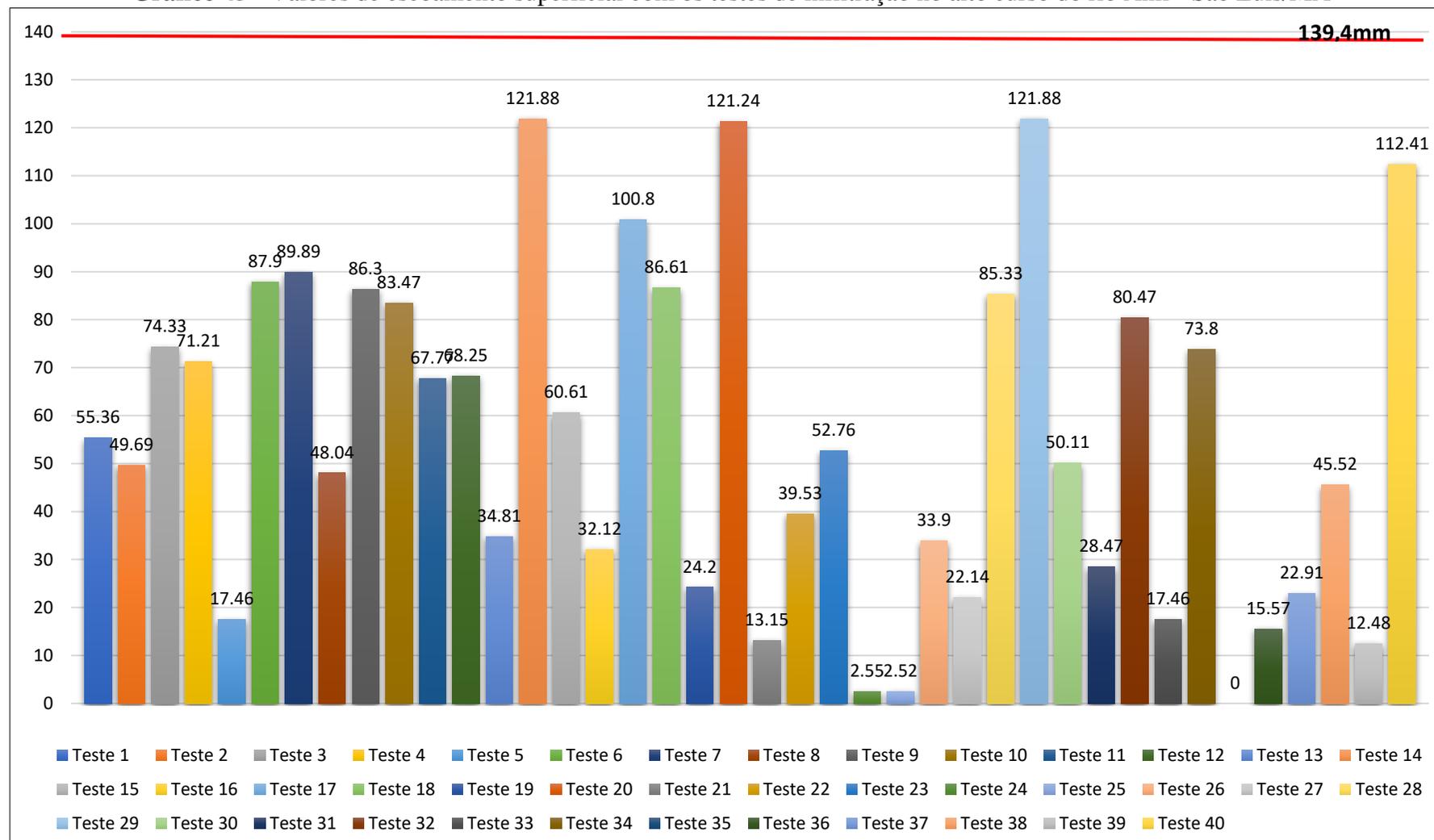
Teste 39	P: 139,4	S:339	Tipo de uso: Solo Exposto	Tipo Hidrológico: D
$Q = (P - (0,2 \times S))^2 / (P + (0,8 \times S))$ $Q = (139,4 - (0,2 \times 339))^2 / (139,4 + (0,8 \times 339))$ $Q = (139,4 - 67,8)^2 / (139,4 + 271,2)$ $Q = (71,6)^2 / 410$ $Q = 5.126,56 / 410$ $Q = 12,48 \text{ mm}$				
Teste 40	P: 139,4	S: 26	Tipo de uso: Solo Exposto	Tipo Hidrológico: B
$Q = (P - (0,2 \times S))^2 / (P + (0,8 \times S))$ $Q = (139,4 - (0,2 \times 26))^2 / (139,4 + (0,8 \times 26))$ $Q = (139,4 - 5,2)^2 / (139,4 + 20,8)$ $Q = (134,2)^2 / 160,2$ $Q = -18.009,64 / 160,2$ $Q = 112,41$				

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

Ao analisar estes dados, observou-se que os testes que geraram maior valor de escoamento superficial para a precipitação de 139,4 ocorrida no dia 15 de março de 2021, foram os testes de número 14, 17, 20, 29 e 40 (Gráfico 45) e (Mapa 14). Os testes com maiores valores têm como características comuns, o uso de solo exposto e a declividade, que em suma, variam 0 a 16%.

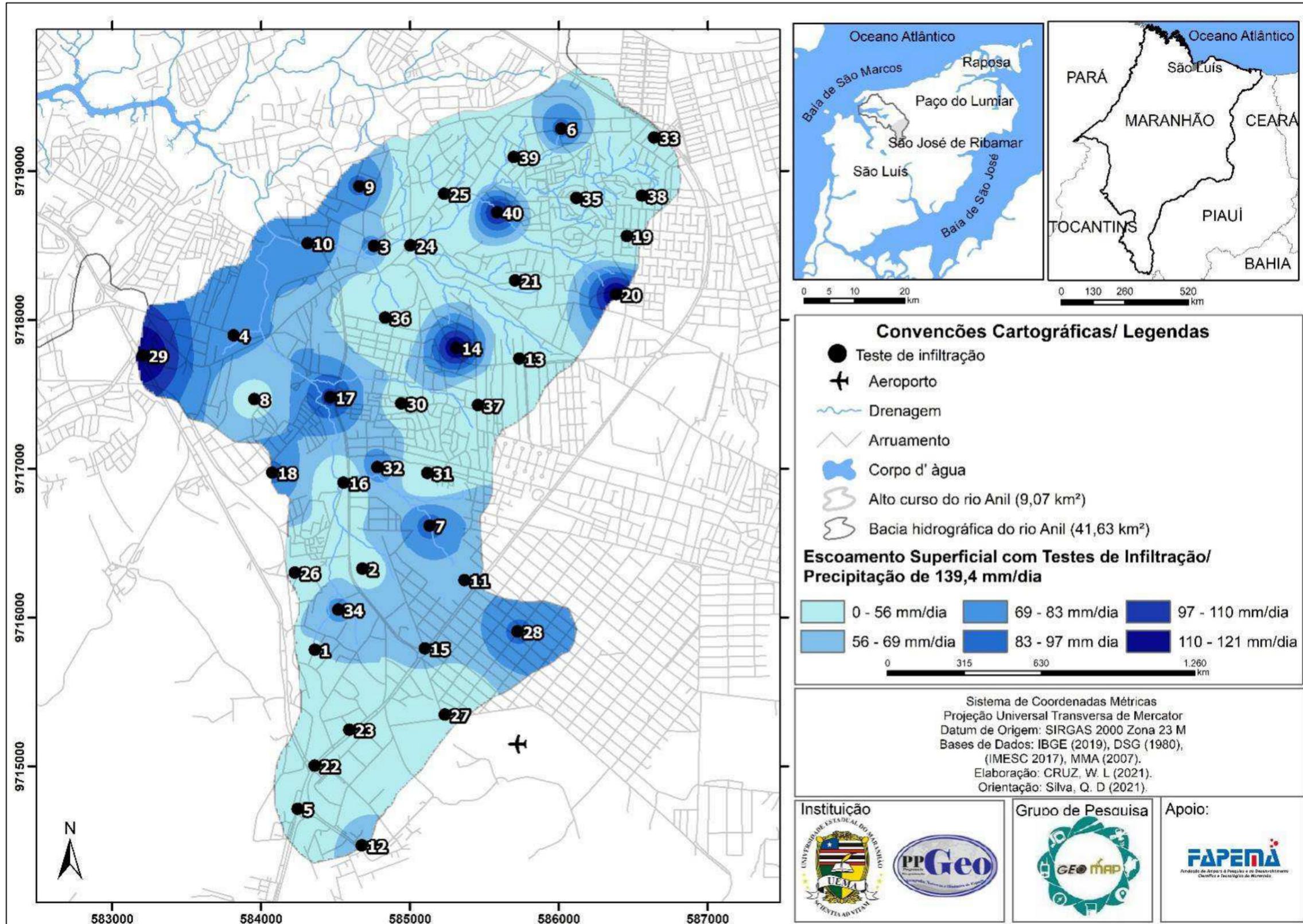
Os bairros que apresentaram maiores taxas de escoamento superficial para técnica com os testes de infiltração foram: Santo Antônio, Anil, Santa Cruz, Tirirical, Sítio Pirapora, Jardim São Cristóvão, Aurora, Cruzeiro do Anil e Planalto da Aurora.

No que tange a altitude, os testes se localizam em áreas de 19 a 55 metros, nos compartimentos geomorfológicos de tabuleiros, encostas e planícies fluviais presentes na área de estudo. O grupo hidrológico com maior quantitativo de testes com escoamento superficial significativo é o B, sendo apenas o teste 17 de grupo D.

**Gráfico 45 - Valores de escoamento superficial com os testes de infiltração no alto curso do rio Anil - São Luís/MA**

Fonte: Dados da pesquisa (2022).

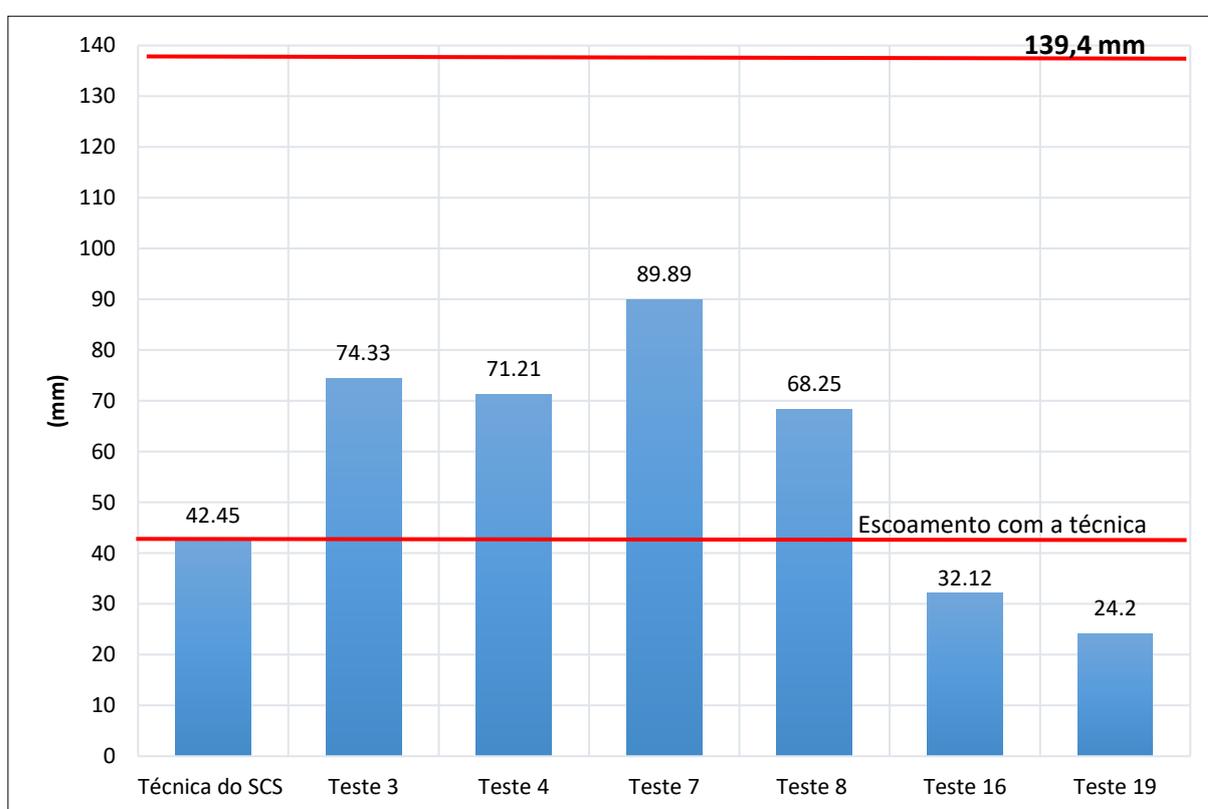
Mapa 14 - Escoamento superficial com os testes de infiltração no alto curso da bacia hidrográfica do rio Anil - São Luís / MA



Fonte: Dados da pesquisa (2022)

O grupo hidrológico B, na presente pesquisa englobou os Argissolos Vermelho-Amarelos e Argissolos Vermelho-Amarelo Concrecionários. Para esse grupo, a técnica do SCS convencional, considerou que uso e ocupação de área vegetada, obteve o escoamento superficial de 42,54 mm, enquanto os testes de infiltração realizados nesses mesmo grupo e classe de uso, obtiveram valores que variam de 24 mm a 89,89 mm e escoamento superficial, como observado no gráfico 46. Nesse sentido, é percebido que a técnica subestimou os valores de escoamento para classes de uso de área vegetada de tipo hidrológico B.

**Gráfico 46** - Comparação do escoamento superficial para área vegetada com SCS e os testes de Infiltração para o grupo hidrológico – B, no alto curso da bacia do rio Anil-São Luís/MA

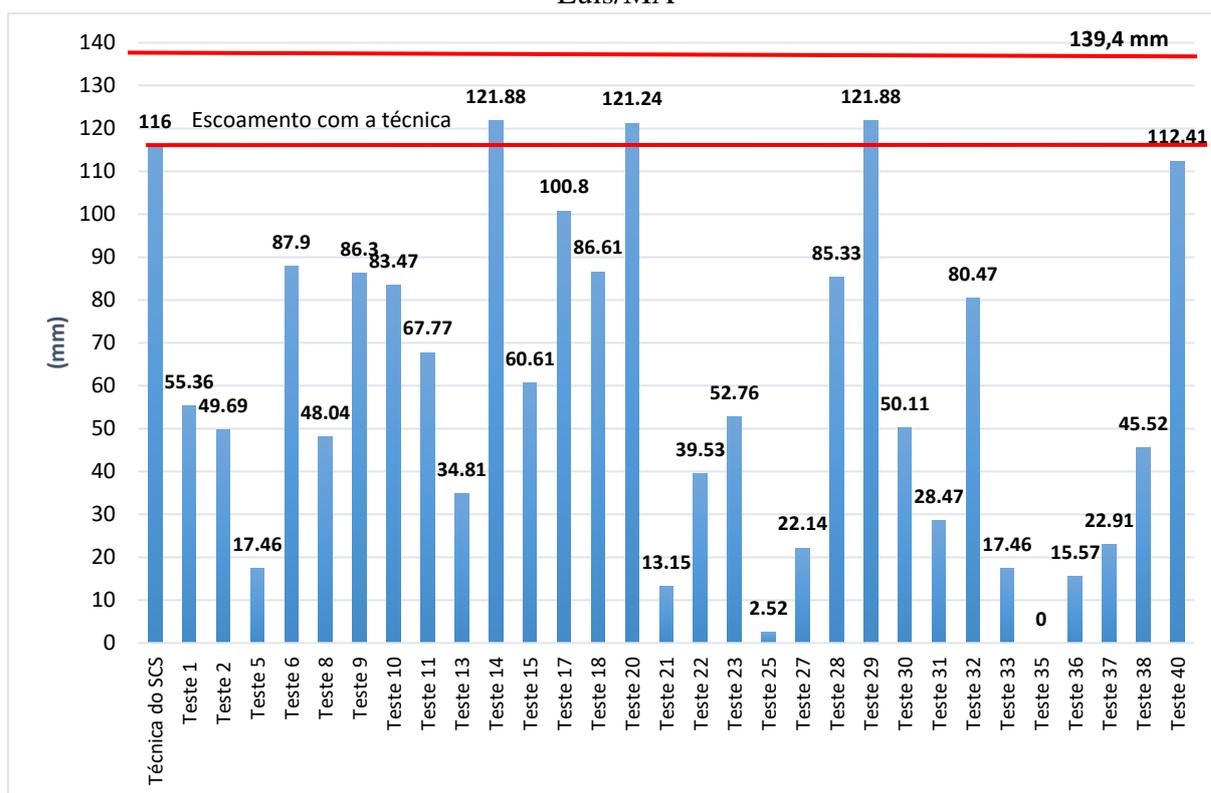


Fonte: Dados da pesquisa (2022).

Com relação à classe de solo exposto pertencentes grupo hidrológico B, observou-se que dos 30 testes realizados nessa classe e grupo, apenas 5 testes alcançaram valores semelhantes, mas ainda assim, diferentes do valor obtido com a técnica convencional. Em sua grande maioria, os testes tiveram valores diferentes em relação à comparação com os dados obtidos com técnica do SCS.

Outro aspecto observado ao analisar os dados inerentes a solo exposto do grupo hidrológico B, é que, o teste 35 realizado na localidade desta classificação, obteve um valor de escoamento de 0 mm, a partir do cálculo da equação 2, tendo em vista que, o valor infiltrado nos 30 minutos de ensaio, foi maior que o valor de precipitação analisada na presente pesquisa.

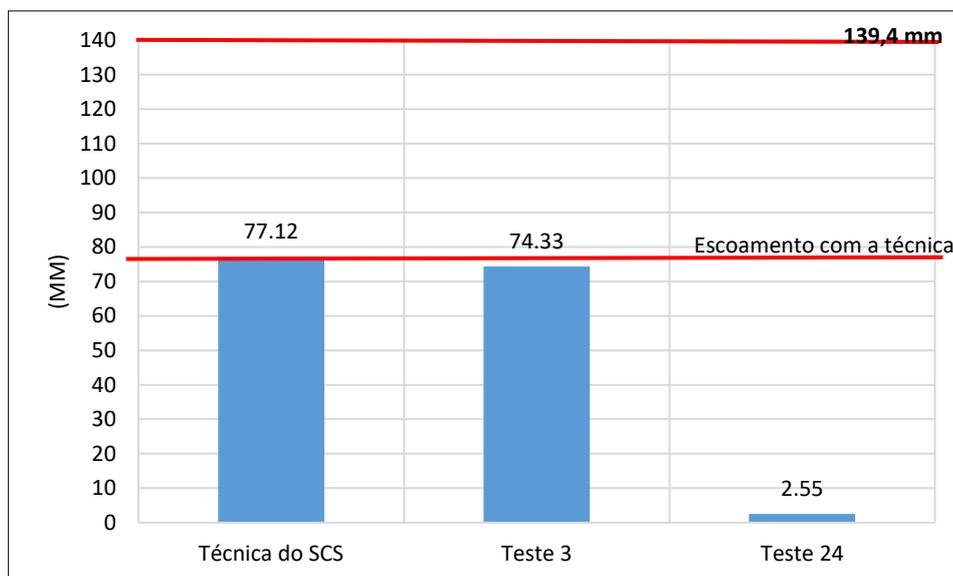
**Gráfico 47** - Comparação do escoamento superficial para área de solo exposto com SCS e os testes de Infiltração para o grupo hidrológico – B, no alto curso da bacia do rio Anil-São Luís/MA



Fonte: Dados da pesquisa (2022).

Em relação ao grupo D que tem como solos os Gleissolos e Neossolos Quartzarênicos Órticos Distróficos, percebeu-se que ambos obtiveram valores diferentes em relação ao valor de escoamento superficial alcançado com SCS convencional, que foi de 77,17mm (Gráfico 48).

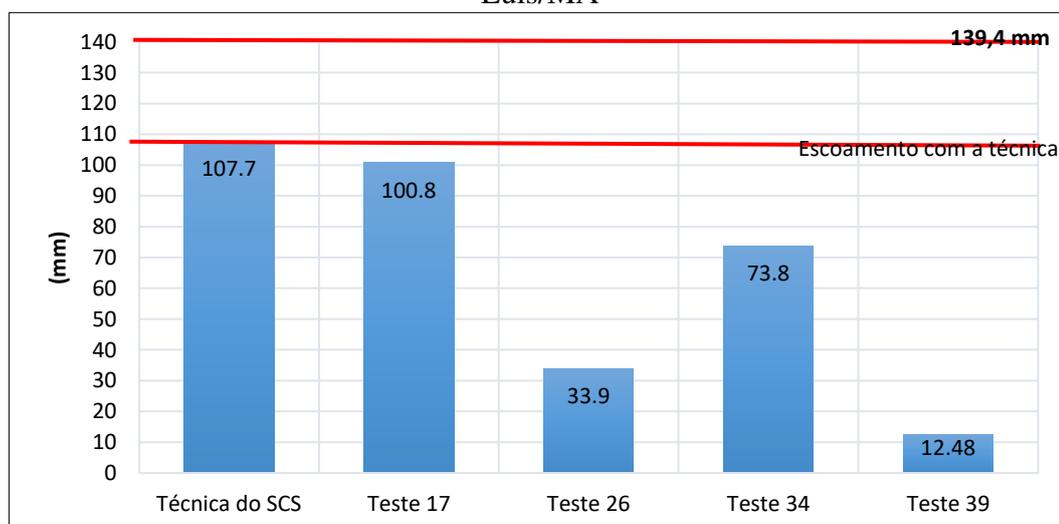
**Gráfico 48** - Comparação do escoamento superficial para área vegetada com SCS e os testes de Infiltração para o grupo hidrológico - D, no alto curso da bacia do rio Anil-São Luís/MA



Fonte: Dados da pesquisa (2022).

O valor de escoamento superficial do solo exposto, para o grupo hidrológico D, foi de 107,7 mm de acordo com técnica convencional do SCS (Gráfico 49). Em relação aos testes, esses valores foram diferentes dos obtidos com técnica, assim como aconteceu nos demais usos e grupo hidrológicos de solos.

**Gráfico 49** - Comparação do escoamento superficial para área de solo exposto com SCS e os testes de Infiltração para o grupo hidrológico - D, no alto curso da bacia do rio Anil-São Luís/MA

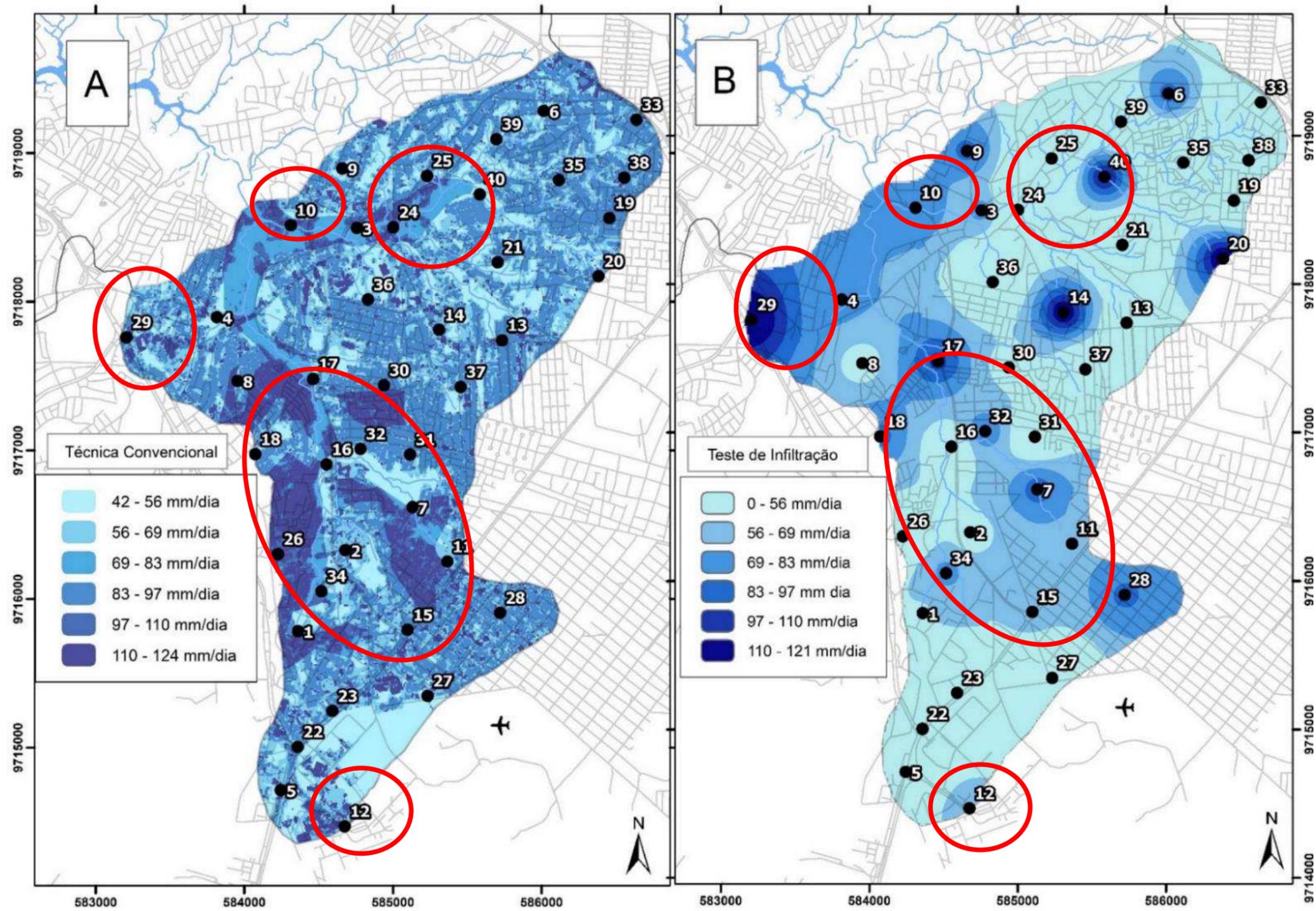


Fonte: Dados da pesquisa (2022).

Em suma, ao analisar os dados obtidos para as classes e grupo hidrológicos estudados na presente pesquisa, é percebido ao longo do trabalho a distinção dos valores de escoamento superficial gerados por meio da técnica do SCS e pelos testes de infiltração, havendo uma variação expressiva dos valores gerados para o escoamento superficial. Essa variação é mais evidenciada nos gráficos expostos anteriormente, sobretudo quanto à análise de agrupamento pelo tipo hidrológico e uso.

Percebeu-se que para a precipitação de 139,4 mm, os valores de escoamento superficial variaram de 0 a 121,8 mm com os testes e de 42 a 124mm com a técnica do SCS (Mapa 15).

**Mapa 15** - Comparação do escoamento gerado com a técnica convencional e com os testes de infiltração no alto curso do rio Anil- São Luís/MA



Círculo em vermelho: áreas com escoamento superficial semelhante nos dois mapas  
Fonte: Dados da pesquisa (2022).

Ao analisar o mapa exposto anteriormente, mesmo não havendo uma espacialização totalmente semelhante dos dados, é percebida a relação das taxas geradas com a técnica SCS e com a dos testes de infiltração, sobretudo nas áreas central, oeste e sul da bacia, como foi sinalizado pelos círculos vermelhos.

É percebido uma espacialização semelhante dos das taxas, sobretudo ao decorrer do canal localizado na proximidade dos testes 17, 16, 7 e 11, sendo estes localizado mais ao centro da bacia, se direcionado para o sul. Outra espacialização semelhante as taxas de escoamento superficial no mapa se deu em toda a porção noroeste da bacia, sendo na localidade dos testes 29, 10 e 9.

Destaca-se que, conforme a técnica utilizada, não foi possível identificar os valores de escoamento superficial nas áreas comerciais e urbanas, sendo estas consideradas impermeáveis.

Grandes foram as dificuldades encontradas para a realização dos testes de infiltração na área, em virtude do alto adensamento urbano com poucas áreas permeáveis e da falta de segurança na mobilidade.

Outro aspecto a ser destacado em relação aos testes de infiltração, é que mesmo sendo realizados em tipo de uso e grupos hidrológicos proporcionais, obtiveram diferenças discrepantes em torno dos valores gerados de infiltração acumulada e posteriormente de escoamento superficial.

Deste modo, a realização da análise estatística foi necessária em virtude da variedade de dados gerados sobretudo em relação as taxas de escoamento superficial geradas com os testes de infiltração e com a técnica convencional do (SCS).

### **4.3 Matriz de correlação**

A análise estatística foi realizada para avaliar a correlação dos dados obtidos na presente pesquisa. Foi utilizado o *software* Jamovi project (2021/Versão 2.2) para gerar a matriz de correlação, partindo de Spearman (1961), tendo em vista que os dados da presente pesquisa não possuem distribuição normal, sendo estes considerados não-paramétricos.

De acordo com Guimarães (2017, p.10), para a análise é necessário que a “[...] medida de associação que exige que ambas as variáveis se apresentem em escala de mensuração pelo menos ordinal. Basicamente equivale ao coeficiente de correlação de Pearson aplicado a dados ordenados”.

A partir da correlação dos dados da presente pesquisa, foi possível estimar o coeficiente de correlação de Spearman (1961), sendo estes classificados de acordo com Batista (2021). De acordo com esse autor, a correlação pode ser classificada de acordo com o valor obtido, sendo considerada uma classificação significativa quando o valor de  $p > 05$ , tanto negativamente/positivamente, como observado na figura 30.

**Figura 30** - Interpretação do coeficiente de correlação

Valor do coeficiente $\rho$	Interpretação
-1	Correlação negativamente perfeita
] -1 a -0.90	Correlação negativa muito forte
-0.89 a -0.70	Correlação negativa forte
-0.69 a -0.40	Correlação negativa moderada
-0.39 a -0.20	Correlação negativa fraca
-0.19 a 0.00[	Correlação negativa muito fraca
0.00	Correlação nula ou inexistente
] 0.00 a 0.19	Correlação positiva muito fraca
0.20 a 0.39	Correlação positiva fraca
0.40 a 0.69	Correlação positiva moderada
0.70 a 0.89	Correlação positiva forte
0.90 a +1[	Correlação positiva muito forte
+1	Correlação positivamente perfeita

Fonte: Batista (2021, online).

Para Batista (2021) as correlações podem ser classificadas, como: correlação negativamente perfeita; correlação negativa muito forte; correlação negativa forte; correlação negativa moderada; correlação negativa muito fraca; correlação negativa nula ou inexistente; correlação positiva fraca, correlação positiva moderada; correlação positiva forte; correlação positiva muito forte e correlação positivamente forte.

Deste modo, foi gerado no Jamovi as correlações presentes na pesquisa. A correlação foi gerada a partir dos dados do grupo hidrológico, tipo de uso, escoamento superficial com a técnica convencional, escoamento superficial com testes de infiltração, infiltração acumulada, CN para os 40 testes realizados no alto curso da bacia do rio Anil, São Luís – Maranhão. Assim,

A correlação entre duas variáveis, medidas num mesmo indivíduo, é calculada com o intuito de verificar se existe inter-relacionamento entre essas variáveis. Padronizou-se que tal medida deve estar no intervalo fechado de -1 a 1, em que -1 indica perfeita correlação negativa ou inversa e 1 indica perfeita correlação positiva ou direta. A correlação negativa indica que o crescimento de uma das variáveis implica, em geral, no decréscimo da outra. A correlação positiva indica, em geral, o crescimento ou decréscimo concomitante das duas variáveis consideradas (PONTES, 2010, p. 1).

Ao analisar os dados obtidos a partir da matriz de correlação é observado algumas correlações significativas, tais como: o tipo de uso e tipo hidrológico, valor com a técnica e infiltração acumulada e por fim CN com o valor da técnica, como observado na figura 31. A análise é feita por pares de variáveis a partir do coeficiente de correlação de Spearman, sendo posteriormente gerado a matriz de correlação em conjunto destas análises.

**Figura 31 - Matriz de Correlação**

	Testes	Tipo Hidrológico	Tipo de Uso	Escoamento Superficial	Valor com Técnica	Valor de Infiltração Acumulada	CN	
Testes	Spearman's rho	—						
	p-value	—						
Tipo Hidrológico	Spearman's rho	0.202	—					
	p-value	0.211	—					
Tipo de Uso	Spearman's rho	0.263	0.867 ***	—				
	p-value	0.101	< .001	—				
Escoamento Superficial	Spearman's rho	-0.310	-0.145	-0.104	—			
	p-value	0.052	0.371	0.523	—			
Valor com Técnica	Spearman's rho	0.131	-0.548 ***	-0.139	0.037	—		
	p-value	0.420	< .001	0.392	0.823	—		
Valor de Infiltração Acumulada	Spearman's rho	0.274	0.254	0.196	-0.931 ***	-0.116	—	
	p-value	0.087	0.114	0.226	< .001	0.474	—	
CN	Spearman's rho	0.280	-0.187	-0.051	-0.032	0.356 *	-0.078	—
	p-value	0.080	0.247	0.754	0.844	0.024	0.632	—

Note. \* p < .05, \*\* p < .01, \*\*\* p < .001

Fonte: Jamovi project (2022).

A matriz de correlação sinaliza com (\*) as correlações significativas, sendo estas relatadas anteriormente. Partindo dessa matriz com o coeficiente de correlação foi identificada a correlação dos dados gerados a partir dos coeficientes obtidos (Tabela 18).

**Tabela 18** - Interpretação da matriz de correlação

Correlação		Spearman's rho	Interpretação
Tipo Hidrológico	Testes	0.202	Correlação positiva fraca
Tipo Hidrológico	Tipo de uso	0.867	Correlação positiva forte
Escoamento Superficial	Testes	-0.310	Correlação negativa fraca
Escoamento Superficial	Tipo Hidrológico	-0.145	Correlação negativamente muito fraca
Escoamento Superficial	Tipo de uso	-0.104	Correlação negativamente muito fraca
Valor com a Técnica	Testes	0.131	Correlação negativamente muito fraca
Valor com a Técnica	Tipo Hidrológico	-0.548	Correlação negativa moderada
Valor com a Técnica	Tipo de uso	-0.139	Correlação negativamente muito fraca
Valor com a Técnica	Escoamento Superficial	0.037	Correlação positiva muito fraca
Valor de Infiltração Acumulada	Testes	0.274	Correlação positiva fraca
Valor de Infiltração Acumulada	Tipo Hidrológico	0.254	Correlação positiva fraca
Valor de Infiltração Acumulada	Tipo de uso	0.196	Correlação positiva muito fraca
Valor de Infiltração Acumulada	Escoamento Superficial	-0.931	Correlação negativa muito forte
Valor de Infiltração Acumulada	Valor com a Técnica	-0.116	Correlação negativa muito fraca
CN	Testes	0.280	Correlação positiva fraca
CN	Tipo Hidrológico	-0.187	Correlação negativa muito fraca
CN	Tipo de Uso	-0.051	Correlação negativa muito fraca
CN	Escoamento Superficial	-0.032	Correlação negativa muito fraca
CN	Valor com a Técnica	0.356	Correlação positiva fraca
CN	Valor de Infiltração Acumulada	-0.078	Correlação negativa muito fraca

Correlação acima de 0,5 tanto positivamente quanto negativamente são consideradas relevantes, sendo estas sinalizadas na cor azul

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Ao analisar as correlações obtidas com a interpretação da matriz, percebeu-se que as taxas de escoamento superficial se correlacionam de forma fraca com as taxas alcançadas com os testes de infiltração. Nesse sentido, compreende-se que a correlação dessas duas variáveis é considerada positiva muito fraca, obtendo um valor de Spearman's rho 0.037.

Os testes de infiltração alcançaram taxas que diferem dos dados obtidos com a técnica convencional, mesmo seguindo a padronização desses testes. Entretanto, se faz necessário destacar que existiam diferenças nas localidades dos ensaios de infiltração, sendo essas muitas vezes percebidas como, material tecnogênico, compactação e circunvizinhança dos testes.

No que tange aos dados que tiveram uma correlação significativa, o valor da correlação entre o valor infiltrado acumulado e o escoamento superficial foi de -0.931, sendo considerada uma correlação inversamente proporcional, ou seja, quanto maior for a infiltração acumulada, menor será a taxa de escoamento superficial gerado com o teste de infiltração, demonstrado que quanto maior for a capacidade de retenção do solo, menor será escoamento superficial ele vai gerar.

Outra correlação com destaque, foi o valor de escoamento gerado com a técnica e tipo hidrológico do solo, sendo também uma correlação inversamente proporcional. A taxa de escoamento superficial, tem uma correlação com o peso atribuído aos tipos hidrológicos do solo, ou seja, quanto maior taxa de escoamento superficial, menor será peso do grupo hidrológico do solo. Demonstrando uma correlação entre a capacidade de retenção do solo com o valor de escoamento superficial.

No que tange às correlações positivas, as com maior correlação foi o tipo de solo e tipo hidrológico, obtendo um valor de 0,867 sendo considerada uma correlação positiva forte. A justificativa para essa correlação positiva forte, se dá sobretudo aos pesos atribuídos para essas variáveis, atribuídos na presente pesquisa.

Foi percebido a correlação entre o valor de CN e o valor de escoamento superficial com a técnica convencional do (SCS), demonstrando uma correlação positiva, sendo considerada fraca, mas ainda sim expressiva, com o valor de 0,356. A correlação demonstra que quanto maior o valor do CN, maior será o escoamento superficial para a bacia hidrográfica do rio Anil.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O alto curso da bacia hidrográfica do rio Anil apresenta uma dimensão de 9,07km<sup>2</sup>, localizado na cidade de São Luís, vem ao decorrer dos anos passando por transformações que alteraram suas características naturais. Essas alterações foram ocasionadas pelo uso e ocupação de forma inadequada, aumentando significativamente a impermeabilização do solo.

Esse processo de impermeabilização do solo, ocasiona o aumento significativo do escoamento superficial, podendo ocasionar enchentes, alagamentos e enxurradas. Os dados alcançados com a pesquisa, demonstram que a área de estudo apresenta uma alta impermeabilização do solo, sendo que, cerca de 53% da área é impermeabilizada, gerando altas taxas de escoamento superficial.

Deste modo, torna-se imprescindível a avaliação de dados inerentes as taxas de escoamento superficial, sobretudo, em virtude dos problemas advindos com alto grau de impermeabilização de bacias hidrográficas urbanas. A presente pesquisa aplicou a técnica do SCS no alto curso da bacia hidrográfica do rio Anil, bem como, a realização de testes de infiltração visando compreender a dinâmica local da área de estudo, sendo feita a caracterização da área para compreensão da dinâmica do escoamento superficial no alto curso do rio Anil.

Dentre os resultados obtidos com a caracterização da área de estudo, destaca-se que o alto curso possui dois tipos de unidades de relevo, sendo as agradacionais, caracterizada pelas planícies fluviais e as denudacionais, os morrotes, tabuleiros e colinas esparsas, sendo essa última, o maior compartimento presente na área de estudo, representando 28,78%.

No que tange, as características hipsométricas, o alto curso da bacia do rio Anil possui altitudes que variam de 8 a 55 metros, sendo as áreas mais altas localizadas nos tabuleiros nos divisores de água. A declividade da bacia, varia de 0 a >30%, sendo a maior classe a de 0 a 2%, representado 61% da área. O alto curso possui uma sua grande parcela a curvatura planar retilínea, que representa cerca de 97,02% da área de estudo.

Ao analisar os dados obtidos com aplicação da técnica do SCS, observou-se que o CN do alto curso varia de 61 a 95, de acordo com tipo de uso e tipo hidrológico do solo. Sendo caracterizado o uso da bacia como área urbanizada, área vegetada, área comercial e solo exposto. Em relação tipo hidrológico, área de estudo possuiu dois tipos, classificados com B e D conforme a técnica adotada, deste modo, observou-se que o menor valor de CN 61 para área vegetada com grupo hidrológico B, e o maior é 95 para área comercial com tipo hidrológico D.

Deste modo, observou-se que as áreas que mais geraram escoamento superficial conforme a aplicação da técnica do SCS de modo convencional, são as áreas com tipo hidrológico D com uso de área comercial, gerando valores de escoamento 124,55 mm, seguido por uso urbano, com mesmo tipo hidrológico que obteve o valor de 116 mm escoamento superficial para a precipitação de 139,4mm ocorrida no dia 15 de março de 2021.

No Brasil, a técnica do (SCS) é recomendada por diversas instituições, que aprovam diversos projetos de engenharia de recursos hídricos utilizando a técnica. Entretanto, a técnica do SCS não pode ser aplicada de forma generalizada, sobretudo sem obter valores inerentes as taxas de infiltração em campo, visando promover ajustes para situações locais. Deste modo, aplicou-se testes de infiltração na área de estudo, visando compreender de forma local os valores gerados de escoamento com os infiltrômetros.

Ao analisar os dados obtidos com os 40 testes realizados no alto curso, observou-se que os testes que geraram maiores valores de escoamento superficial para mesma precipitação de 139,4mm, foram os testes de número 14, 17, 20, 29 e 40, que geraram valores que variam de 100,8mm a 121,88mm. Nesse sentido, partindo da aplicação da técnica do SCS, o valor de escoamento superficial na área de estudada variou de 42 a 124 mm, para a precipitação de 139,4 mm/dia, enquanto os valores de escoamento superficial para os 40 testes de infiltração, geraram valores entre 0 a 121,8 mm/dia.

Para melhor análise das taxas de escoamento superficial obtidas na presente pesquisa, foi elaborada a Matriz de Correlação de Spearman, que correlacionou as variáveis na área de estudo. De acordo com a matriz as taxas de escoamento superficial obtidas com a técnica convencional do (SCS), e as taxas alcançadas com os testes de infiltração, possuem uma correlação positiva fraca, obtendo um valor de Spearman's rho de 0.037. Entretanto ao analisar os dados especializados foi perceptível uma correlação significativa das taxas de escoamento superficial na porção central, oeste, noroeste e sul da bacia.

É percebido, com a espacialização das taxas de escoamento superficial, uma correlação dos valores especializados, sobretudo ao decorrer do canal localizado na proximidade dos testes 17, 16, 7 e 11, sendo estes localizados na porção central do alto curso da bacia seguindo a porção sul. As porções noroeste e norte alcançaram dados semelhantes, nas localidades dos testes 29, 10 e 9.

A matriz demonstrou que existe uma correlação positiva forte entre tipos hidrológicos e tipos de uso; correlação positiva fraca entre os tipos hidrológicos e os testes;

entre os valores de infiltração acumulada e os testes de infiltração; entre os valores de infiltração acumulada e os tipos hidrológicos; entre os dados de CN e os testes de infiltração; e entre os dados de CN e os valores gerados pela técnica SCS.

Neste sentido, compreende-se que o escoamento superficial para as duas técnicas aplicadas obteve valores que se assemelham em algumas variáveis. Em suma, ao analisar o escoamento superficial para alto curso do rio Anil foi percebido ao longo da análise de dados, que as taxas de escoamento superficial são altas, tendo o alto curso da bacia do rio Anil uma alta probabilidade de geração de escoamento superficial, em virtude sobretudo do seu alto adensamento urbano, além da perda significativa de áreas permeáveis ao decorrer do seu perímetro.

## REFERÊNCIAS

ANA; CPRM. **Projeto Estudos Hidrogeológicos da Região Metropolitana de São Luís Subsídio para o uso sustentável dos recursos hídricos**. Editora: Recife, 2018.

AGUIAR, L. S. G.; D. S. TARGA, M.; BATISTA, G. T. Escoamento superficial na bacia hidrográfica do Ribeirão Itaim. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 2, n. 1, p. 44-56, 2007. Disponível em: [https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UNITAU\\_a54952d34d72acc4b06aa9f76d41cd2a](https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UNITAU_a54952d34d72acc4b06aa9f76d41cd2a). Acesso em: 15 jul. 2022.

ALCÂNTARA, E. H. Mudanças climáticas, incertezas hidrológicas e vazão fluvial: o caso do estuário do Rio Anil. **Caminhos de Geografia**, 8(12)158-173, Jun/2004. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/15345/8644>. Acesso em: 17 jul. 2022.

ALMEIDA, T. A. **Impactos decorrentes das mudanças ocasionadas pelo uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica urbana da UFJF–CAMPUS JF sobre o escoamento superficial**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2016. Disponível em: <https://www2.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2014/02/TFC-TAMIRIS1.pdf> Acesso em: 22 jul. 2022.

ANJINHO, P. S.; BARBOSA, M. A. G.; SANTOS, A. R.; MAUAD, F. F. Espacialização do parâmetro curve number (CN) na bacia hidrográfica do ribeirão do lobo para o período de 1985 e 2017. *In: XVI Simpósio do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental*, 2018, São Carlos. **Anais eletrônicos do 16º Simpósio do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental**. São Carlos, 2018. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/330669086\\_ESPACIALIZACAO\\_DO\\_PARAMETRO\\_CURVE\\_NUMBER\\_CN\\_NA\\_BACIA\\_HIDROGRAFICA\\_DO\\_RIBEIRAO\\_DO\\_LOBO\\_PARA\\_O\\_PERIODO\\_DE\\_1985\\_E\\_2017](https://www.researchgate.net/publication/330669086_ESPACIALIZACAO_DO_PARAMETRO_CURVE_NUMBER_CN_NA_BACIA_HIDROGRAFICA_DO_RIBEIRAO_DO_LOBO_PARA_O_PERIODO_DE_1985_E_2017)>. Acesso em: 20 set. 2022.

ATAIDE, R; FREIRE, A; JONAS, L; ALVES, M. H., PITTA, M. **Evolução do uso na Bacia do Rio Anil** - São Luís-MA. Natal, setembro, 2012. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/105863890/Evolucao-do-uso-na-Bacia-do-Rio-Anil-Sao-Luis-MA>. Acesso em: 12 dez. 2020.

BARROS, D. V. **Os níveis taxonômicos das unidades de relevo do alto curso da bacia hidrográfica do Anil, Ilha do Maranhão**. 2015. Relatório técnico apresentado a Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós Graduação, como requisito final da bolsa de iniciação científica. Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2015.

BATISTA, I. **Testes de correlação**. Médium. Disponível em: <https://ivanildo-batista13.medium.com/testes-de-correla%C3%A7%C3%A3o-3cb0a37e0f2>. Acesso em: 29 de jun de 2022.

BOTELHO, R. G. Planejamento Ambiental em Microbacia Hidrográfica. In: GUERRA, A. T.; DA SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. 9 ed. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil, 2014. p. 269-293.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2 de ago. 2010. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm). Acesso em: 12 mar. 2020.

BURNETT, F. L. **Urbanização e Desenvolvimento Sustentável: a sustentabilidade dos tipos de urbanização em São Luís do Maranhão**. Editora UEMA, 2008.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blucher, 1980.

COSTA, C. M. **Risco de inundações no alto curso da bacia hidrográfica do rio Anil**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2018.

COSTA, J. J.; FONTES, A. L.; SOUZA, R. M.; O GTP (geossistema/território/paisagem) na planície costeira sergipana, Brasil. **Revista GeoNorte**, v. 3, n. 4, p. 46-58, 2012. Disponível em: <https://www.periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/1805>. Acesso em: 14 jan. 2021.

CROSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. UNICAMP/Instituto de Geociências, 1999.

CRUZ, W. L. **Conflitos de Uso e Cobertura em Áreas de Preservação Permanente na Bacia do Rio Anil- São Luís**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Licenciatura em Geografia) - Universidade Federal do Maranhão, São Luís 2019.

CRUZ, W. L.; RIBEIRO, D.Q.; PEREIRA, E. D. Conflitos de uso e ocupação em áreas de preservação permanente na bacia do rio Anil - São Luís, MA. **Revista Geonorte**, v. 11, p. 229-247, 2020. Disponível em: <https://www.periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/7081>. Acesso em: 30 ago. 2020

DECINA, T. G. T. **Análise de medidas de controle de inundações a partir da avaliação de cenários de uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica do Córrego do Gregório**. Dissertação de mestrado, EESC/USP. São Carlos – SP, 2012. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/002294115>. Acesso em: 05 fev. 2020.

SPEARMAN, C.; **The proof and measurement of association between two things**. *The American Journal of Psychology*, vol. 100, no. 3/4, 1987, pp. 441–71. *JSTOR*. 1961. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/1422689>. Acesso em: 05 fev. 2020.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos**. Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

\_\_\_\_\_. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Embrapa Produção de Informação – Brasília, DF: Embrapa Solos, 2018.

FEITOSA, D. S. **DO BUCÓLICO, CUTIM AO BAIRRO ANIL**/ Danilo da Silva Feitosa- São Luís, 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Licenciatura em História) - Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2019.

FINKLER, R. **Planejamento, manejo e gestão de bacias**. Unidade 1 - A Bacia Hidrográfica. Disponível em: acesso em 19 de maio de 2021.

FLORENZANO, T. G. Introdução à Geomorfologia. In: FLORENZANO, T. G. (Org.). **Geomorfologia conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos. 320 p. 2008.

FONTES; A. R. M.; BARBASSA, A. P. Diagnóstico e Prognóstico da Ocupação e da Impermeabilização Urbana. RBRH – **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, São Paulo, v. 8, n.2, abr/jun 2003. p. 137 – 142. Disponível em: [https://abr.h.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/36/333321ad2e0442b968f474b40381eaa3\\_dc3b9defd64e615362eb9f6cfa30bcc1.pdf](https://abr.h.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/36/333321ad2e0442b968f474b40381eaa3_dc3b9defd64e615362eb9f6cfa30bcc1.pdf). Acesso em: 11 jul. 2021.

FRANÇA, D. V. B. **Vulnerabilidade ambiental a alagamentos no alto curso da bacia hidrográfica do Santo Antônio, Ilha do Maranhão**. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2019.

GERCO. **Programa Estadual de Gerenciamento Costeiro-Hidrologia**. Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Coordenadoria de Programas Especiais. Governo do Estado do Maranhão. São Luís.2010.

GROVE, M.; HARBOR, J.; ENGEL, B. Composite vs. distributed curve numbers: effects on estimates of storm runoff depth. **Journal of the American Water Resources Association**, Middleburg, v. 34, n. 5, p. 1015-1023, 1998. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1752-1688.1998.tb04150.x>. Acesso em:

GUERRA, A. J. T. Processos Erosivos nas encostas. In: CUNHA, S.B.; GUERRA, A. J. T. (Org.). **Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações**. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 2011, p. 139-156.

GUERRA, A. T; GUERRA, A. J. T. **Novo Dicionário Geológico-Geomorfológico**. 6ª ed. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 2008.

GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. S. **Geomorfologia Ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.

GUIMARÃES, Paulo Ricardo B. **Análise de Correlação e medidas de associação**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, p. 1-26, 2017.

HILLS, R. C. **The determination of the infiltration capacity of fields soils using the Cylinder Infiltrometer**. London (UK): British Geomorphological Research Group, Technical Bulletin, 3, 1970.

IBGE. **Cidades/São Luís**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ma/sao-luis/panorama>>. Acesso em 10 ago. 2020.

\_\_\_\_\_. **Manual Técnico de Geomorfologia**. 2. ed. Manuais Técnicos em Geociências: Rio de Janeiro: IBGE, 2009.

\_\_\_\_\_. **Manual Técnico de Pedologia**. 3. ed. Manuais Técnicos em Geociências: Rio de Janeiro: IBGE, 2015.

JAKOB, A. A. E.; YOUNG, A. F.; O uso de métodos de interpolação espacial de dados nas análises sociodemográficas. **Anais do XV Encontro Nacional de Estudos Populacionais** p. 1-22, 2016. Disponível em: <http://www.abep.org.br/publicacoes/index.php/anais/article/view/1530>. Acesso em: 10 ago. 2020.

LIRA, S. A.; CHAVES NETO, A. Coeficientes de correlação para variáveis ordinais e dicotômicas derivados do coeficiente linear de Pearson. **Ciência & Engenharia**, v. 15, n. 1/2, p. 45-53, 2006. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/277236614\\_Coeficientes\\_de\\_correlacao\\_para\\_varia\\_veis\\_ordinais\\_e\\_dicotomicas\\_derivados\\_do\\_coeficiente\\_linear\\_de\\_Pearson](https://www.researchgate.net/publication/277236614_Coeficientes_de_correlacao_para_varia_veis_ordinais_e_dicotomicas_derivados_do_coeficiente_linear_de_Pearson). Acesso em: 11 jul. 2021.

MAGALHÃES, M. A.; TOSCANO, V. N.; BERGAMASCHI, R. B. Área, Densidade e População: O Caso de Áreas Urbanas e Urbanizadas dos Municípios do Espírito Santo. **Planejamento e Políticas Públicas**, [S. l.], n. 40, 2013. Disponível em: [//www.ipea.gov.br/ppp/index.php/PPP/article/view/374](http://www.ipea.gov.br/ppp/index.php/PPP/article/view/374). Acesso em: 12 jul. 2021.

**Manual da base territorial 2014**. Rio de Janeiro: IBGE, 2014. 157 p.

MELLO, C. R. D.; SILVA, A. M. D. **Hidrologia**: princípios e aplicações em sistemas agrícolas. 1. ed. Lavras: UFLA, 2013. 455 p.

MOTA, A. S.; MANTOVANI, J. D. **São Luís do Maranhão no século XVIII**: a construção do espaço urbano sob a lei das sesmarias. São Luís: FUNC, 1998.

NRCS - Natural Resources Conservation Service. Chapter 7: Hydrologic Soil Groups. *In*: **National Engineering Handbook**: Part 630, Hydrology. 2007. Disponível em:<<http://directives.sc.gov.usda.gov/>>. Acesso em: 25 de janeiro de 2021.

PAZ, A. R. **Hidrologia aplicada**. Caxias do Sul, UERGS, 2004.

PEREIRA, E. D. **Avaliação da vulnerabilidade natural à contaminação do solo e do aquífero do reservatório Batatã** – São Luís (MA). Tese (Doutorado) Rio Claro: UNESP. 2006.

PONTES, A. C. F.; Ensino da correlação de postos no ensino médio. **Universidade Federal do Acre**, p. 2-8, 2010.

RADCLIFFE-BROWN, A. R. On social structure. **The Journal of the Royal Anthropological Institute of Great Britain and Ireland**, v. 70, n. 1, p. 1-12, 1940. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/i331103>. Acesso em: 11 jul. 2021.

REBOUÇAS, A. C; SILVA, A. B. **Estudo hidrogeológico do Distrito Industrial de Itaqui – Maranhão**. Divisão de Documentação. Recife, 1972.

REZENDE, E, A.; SALGADO, A. A. R. Mapeamento de unidades de relevo na média Serra do Espinhaço Meridional - MG. GEOUSP - **Espaço e Tempo**, São Paulo, Nº 30, p. 45 - 60, 2011. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/geousp/article/view/74231>. Acesso em: 10 ago. 2020.

RIBEIRO JÚNIOR, J. R. B. **Formação do espaço urbano de São Luís**. São Luís: Edições FUNC, 1999.

SANTOS, F. M.; LOLLO, J. A.; Cartografia digital para estimativa de escoamento superficial visando ao planejamento urbano. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 4, p. 663-675, 2016. Disponível em: <https://www.readcube.com/articles/10.1590%2Fs1413-41522016130053>. Acesso em: 25 de janeiro de 2021.

SANTOS, M. **Espaço e Método**. 5. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2014.

\_\_\_\_\_. **A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção**. Edusp, 2002.

SÃO LUÍS – MA. (Município). Lei nº 4.770 de 22 de março de 2007, declara como Área de Relevante Interesse Ecológico - ARIE as áreas de influência das nascentes do rio Jaguarema, afluente do rio Anil, localizado no município de São Luís, estado do Maranhão, e dá outras providências. **Diário Oficial do Município de São Luís - MA**, São Luís, MA, 22 mar. 2007. Disponível em: <<http://leismunicipa.is/rspgh>>. Acesso em: jun. 2020.

SARTORI, A.; **Desenvolvimento de Critérios para Classificação Hidrológica de Solos e Determinação de Valores de Referência para o Parâmetro CN**. 2010. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

SARTORI, A.; LOMBARDI NETO, F.; GENOVEZ, A. M. Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos. Parte 1: Classificação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 10, n.º 4, p. 5-18, out/ Dez, 2005. Disponível em: <https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=1&ID=26&SUMARIO=440>. Acesso em: 15 abr. 2020.

SCS – Soil Conservation Service. **Urban Hydrology of Small Watersheds**. USDA, SCS, 1986. (Technical Release 55).

SECID-MA. **PAC-Rio Anil**. São Luís, 30 mar.2015 Disponível em: <<https://secid.ma.gov.br/programas-ou-campanhas/pac-rio-anil>>. Acesso em: 10 nov. 2020.

SERPA, A. Milton Santos e a Paisagem: Parâmetros para a Construção de uma Crítica da Paisagem Contemporânea. **Paisagem e Ambiente**, [S. l.], n. 27, p. 131-138, 2010. DOI: 10.11606/issn.2359-5361.v0i27p131-138. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/paam/article/view/77376>. Acesso em: 11 jul. 2021.

SILVA, Q. D. **Mapeamento geomorfológico da Ilha do Maranhão**. Tese de Doutorado. Presidente Prudente- Universidade Estadual de São Paulo, 2012.

SILVEIRA, A. L.L. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: BENETTI, A.; LANNA, A. E. L.; BIDONE, F.; SEMMELMAN, F.; BERTONI, J.A.; FILHO, K. Z.; BELTRAME, L. F. S.; BORDAS, M. P.; CAICEDO, N. L.; PESSOA, M.; CHEVALLIER, P.; PORTO, R. L.; CLARKE, R. T.; Tucci, C. E. M (org.). **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 2º edição. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2001. Cap 1, p. 35-51.

SOUSA, P. R.; **Análise de áreas degradadas por processos erosivos no baixo curso da bacia hidrográfica do rio Anil, Ilha do Maranhão**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2018.

SOUZA, B. B. G. **Caracterização de indicadores sócio-ambientais na bacia do rio Anil, São Luís – MA**, como subsídio à análise econômico-ambiental do processo de desenvolvimento. 2005. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 2005.

STRAHLER, A. N. Dynamic basis of Geomorphology. **The Geological Society of America Bulletin**, v. 63, p. 923-938, 1952.

\_\_\_\_\_. **Physical Geography**. New York: Ed. Wiley, 1960.

SUGUIO, K.; BIGARELLA, J.J. **Ambientes fluviais**. 2.ed. Florianópolis: Editora da UFSC/UFPR, 1990.

TOMINAGA, L. K. Desastres naturais: por que ocorrem? In: TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (Org.) **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009, p. 11-23.

TUCCI, C. E. M. 1997. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2.ed. Porto Alegre: ABRH/ Editora da UFRGS, 1997. (Col. ABRH de Recursos Hídricos, v.4).

\_\_\_\_\_. Escoamento Superficial. In: Tucci, C. E. M (org.). **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 2º edição. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2001. Cap 11, p. 391-441.

VALERIANO, M. M. **Topodata: guia para utilização de dados geomorfológicos locais**. São José dos Campos: INPE, 2008.

YAZAKI, L. F. L. O; MONTENEGRO, M. F.; COSTA, J. **Manual de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas do Distrito Federal**. Editores: - Brasília, DF: Adasa, Unesco. 2018. 329 p.

**APÊNDICE**

## APÊNDICE A – FICHA DE CAMPO

### FICHA DE CAMPO

Teste de Infiltração- Alto curso do rio Anil- São Luís/ MA

Tempo (min)	Altura de infiltração (cm)	Teste/ Ponto: Coordenadas: X: Y: Bairro:	Tempo (min)	Altura de infiltração (cm)	Teste/ Ponto: Coordenadas: X: Y: Bairro:
30 s			30 s		
1			1		
1,30			1,30		
2			2		
3		<b>Tipo de Uso:</b>	3		<b>Tipo de Uso:</b>
4		( )Área Urbana	4		( )Área Urbana
5		( ) Solo Exposto	5		( ) Solo Exposto
6		( )Área Comercial	6		( )Área Comercial
7		( )Área Vegetada	7		( )Área Vegetada
8			8		
9			9		
10			10		
11			11		
12		<b>Tipo de Relevo:</b>	12		<b>Tipo de Relevo:</b>
13		( )Tabuleiro	13		( )Tabuleiro
14		( )Morrotes	14		( )Morrotes
15		( )Vertentes	15		( )Vertentes
16		( )Planície Fluvial	16		( )Planície Fluvial
17			17		
18			18		
19			19		
20			20		
21		<b>Tipo de Solo:</b>	21		<b>Tipo de Solo:</b>
22		( )Argissolos	22		( )Argissolos
23		( )Gleissolos	23		( )Gleissolos
24		( )Neossolos	24		( )Neossolos
25		( )Solos Indiscri.	25		( )Solos Indiscri.
26			26		
27			27		
28			28		
29			29		
30			30		

Fonte: Guerra (2010) / adaptado (2021)

### APÊNDICE B - TABELA DE MEDIÇÃO DA INFILTRAÇÃO ACUMULADA

Intervalo de tempo (min)	Tempo acumulado	Leitura da régua (cm)	Diferença da régua (cm)	Infiltração acumulada (cm)	Infiltração acumulada em (mm)
0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0
1	2	0	0	0	0
1	3	0	0	0	0
1	4	0	0	0	0
1	5	0	0	0	0
1	6	0	0	0	0
1	7	0	0	0	0
1	8	0	0	0	0
1	9	0	0	0	0
1	10	0	0	0	0
1	11	0	0	0	0
1	12	0	0	0	0
1	13	0	0	0	0
1	14	0	0	0	0
1	15	0	0	0	0
1	16	0	0	0	0
1	17	0	0	0	0
1	18	0	0	0	0
1	19	0	0	0	0
1	20	0	0	0	0
1	21	0	0	0	0
1	22	0	0	0	0
1	23	0	0	0	0
1	24	0	0	0	0
1	25	0	0	0	0
1	26	0	0	0	0
1	27	0	0	0	0
1	28	0	0	0	0
1	29	0	0	0	0
<b>1</b>	<b>30</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Fonte: Bernado *et al.* (2009) / adaptado Cruz (2021).

## ANEXO A – TABELAS DE SARTORI

## Classificação hidrológica dos perfis da ordem dos Argissolos

Perfil	Classificação Hidrológica Proposta		Classificação Hidrológica do NRCS	
	Critério	GHS	Critério	GHS
1	7 - mudança textural abrupta dentro de 50 cm	C	camada impermeável > 100 cm; Ks = 12 mm/h (Bt2 a 57-87 cm)	C
2	7 - mudança textural abrupta dentro de 50 cm	C	camada impermeável > 100 cm; Ks = 12 mm/h (Bt2 a 55-86 cm)	C
3	4 - mudança textural abrupta entre 50 e 100 cm	B	camada impermeável > 100 cm; Ks = 22 mm/h (Bt2 a 80-108 cm)	B
4	4 - mudança textural abrupta entre 50 e 100 cm	B	camada impermeável > 100 cm; Ks = 24 mm/h (Bt2 a 72-99 cm)	B
13	7 - mudança textural abrupta dentro de 50 cm	C	camada impermeável > 100 cm; Ks = 20 mm/h (Bt2 a 50-93 cm)	B
14	4 - mudança textural abrupta entre 50 e 100 cm	B	camada impermeável > 100 cm; Ks = 32 mm/h (Bt2 a 66-102 cm)	B
34	4 - horizonte coeso dentro de 50 cm de profundidade	C	camada impermeável > 100 cm; Ks = 2,3 mm/h (Bt1 a 67-103 cm)	C
35	2 - mudança textural abrupta abaixo de 100 cm	A	camada impermeável > 100 cm; Ks = 47,8 mm/h (E2 a 87-105 cm)	A
40	16 - camada impermeável entre 50 e 100 cm	C	camada impermeável entre 50-100 cm; Ks = 219 mm/h (Bt a 34-75 cm)	A
41	16 - camada impermeável entre 50 e 100 cm	C	camada impermeável entre 50-100 cm; Ks = 116 mm/h (Bt a 35-73 cm)	B
42	16 - camada impermeável entre 50 e 100 cm	C	camada impermeável entre 50-100 cm; Ks = 60 mm/h (Bt1 a 30-59 cm)	B
58	16 - camada impermeável entre 50 e 100 cm	C	camada impermeável entre 50-100 cm; Ks = 5,4 mm/h (Ap a 0-10 cm)	C

## Classificação hidrológica dos perfis da ordem dos Gleissolos

Perfil	Classificação Hidrológica Proposta		Classificação Hidrológica do NRCS	
	Critério	GHS	Critério	GHS
7	19 - solos que permanecem saturados por água dentro de 100 cm de profundidade por algum período do ano	D	horizonte glei inicia-se a cerca de 25 cm da superfície. Isso indica a presença de lençol subterrâneo elevado, < 60 cm.	D
8	idem perfil 7	D	idem perfil 7	D
16	idem perfil 7	D	idem perfil 7	D

## Classificação hidrológica dos perfis da ordem dos Neossolos

Perfil	Classificação Hidrológica Proposta		Classificação Hidrológica do NRCS	
	Critério	GHS	Critério	GHS
9	2 - textura arenosa ou média até a camada restritiva	A	camada impermeável > 100 cm; Ks = 132 mm/h (2C2 a 45-120 cm)	A
10	idem perfil 9	A	camada impermeável > 100 cm; Ks = 140 mm/h (2C2 a 56-112 cm)	A
11	18 - contato lítico dentro de 50 cm de profundidade	D	camada impermeável < 50 cm	D
12	idem perfil 11	D	idem perfil 11	D
17	idem perfil 9	A	camada impermeável > 100 cm; Ks = 142 mm/h (Ap a 0-18 cm)	A
18	idem perfil 11	D	idem perfil 11	D
56	1 - solo de textura arenosa em todo o perfil	A	camada impermeável > 100 cm; Ks = 185,4 mm/h (Ap a 0-16 cm)	A

Sartori (2010).